

CARRETERAS.

*Esta obra es propiedad
de su autor.*

CARRETERAS,

POR

D. MANUEL PARDO,

INGENIERO JEFE DE PRIMERA CLASE DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Y PROFESOR DE LA ESCUELA.

TEXTO.

MADRID.

IMPRESA Y FUNDICIÓN DE MANUEL TELLO,

IMPRESOR DE CÁMARA DE S. M.

Don Evaristo, S.

1892.

OBRA DEL MISMO AUTOR.

Materiales de Construcción, segunda edición, corregida y aumentada: Madrid, 1891.

Un tomo en 4.º de 788 páginas y un atlas de 28 láminas.

Precio: **30** pesetas en Madrid y **32** en provincias.

PROLOGO.

Importancia de las carreteras.—No hay necesidad de encarecer la importancia que revisten estas vías, que hasta tal punto contribuyen al desenvolvimiento de los intereses materiales, que basta conocer en un país cualquiera las relaciones que existen entre la longitud de aquéllas y la extensión superficial, por una parte, y el número de habitantes, por otra, para formarse idea cabal del grado de cultura y de la riqueza de la nación que se considere. Pero á primera vista pudiera creerse que sólo á las vías más perfeccionadas, á los ferrocarriles, cabe atribuir interés tan prominente, y que á medida que éstos se extienden debe ir disminuyendo la atención que antes se consagraba á otros medios de comunicación más modestos y de menos potencia de transporte. Este razonamiento es exacto, en cuanto se aplique á las grandes arterias que enlacen la capital de un Estado con las costas y fronteras, á las que sigan las corrientes de ríos caudalosos y á algunas otras que se destinen á satisfacer altos intereses comerciales ó de gobierno; pero, en cambio, los ferrocarriles imponen, cada día en mayor escala, la cons-

trucción de nuevas carreteras que acerquen á ellos los centros de producción y consumo, requisito indispensable para que los caminos de hierro, verdaderos instrumentos de la industria, puedan extender su esfera de acción y encuentren alimento proporcionado á la poderosa fuerza que entrañan. Lejos de entibiarse el celo por la ejecución de caminos, se ve que de consuno las empresas, los pueblos y los representantes del país claman por que se construyan pronto los ya incluidos en el plan, y por que éste se adicione con otros nuevos; y el Gobierno, por su parte, atiende, en la medida que lo permiten los créditos legislativos, á tan interesante ramo de los servicios públicos.

Posible y hasta probable es que con el transcurso del tiempo vayan desapareciendo gran parte de las carreteras y convirtiéndose en tranvías, ferrocarriles económicos ú otros sistemas que en lo por venir se establezcan; mas estas transformaciones que en la actualidad van ya efectuándose, aunque paulatinamente, no amenguan el interés de las carreteras, y sólo demuestran que convendrá no perderlas de vista para trazar y construir los caminos ordinarios, de suerte que su plataforma sea aprovechable cuando en época más ó menos remota se imponga la necesidad de modificar el método de arrastre.

Apuntes históricos.—**EDAD ANTIGUA.**—Al describir Egipto, habla Herodoto, en el libro II de su *Historia*, del monumental camino de piedra labrada y esculpida con figuras de animales, que se construyó para el transporte de materiales destinados á la pirámide de Cheops. También se ejecutaron vías suntuosas (*dromos*), que formaban

las avenidas de los templos, algunas de ellas más de treinta siglos antes de nuestra Era.

Entre los caminos más antiguos de que se tiene noticia, deben citarse los de Asiria (1), que se asignan al reinado de Semíramis, personaje punto menos que mitológico, cuya existencia está aún en tela de juicio, y que varios autores creen que vivió en el siglo XII ó XIII antes de Jesucristo.

Pero las vías terrestres que en tiempos más remotos se dedicaron á las atenciones del comercio se deben á los fenicios y cartagineses, principalmente á los últimos, que, según expresa San Isidoro en sus *Orígenes* (XV, 16, 6), son los primeros que emplearon adoquines ó losas.

Los caminos de Grecia fueron muy imperfectos, debido sin duda á que por la gran extensión de sus costas y por la circunstancia de que todas sus colonias eran islas ó partes de los continentes asiático y europeo bañadas por el mar, el comercio se efectuaba casi en totalidad por medio de sus naves.

Los romanos dieron extraordinario impulso al establecimiento de calzadas, introduciendo en su construcción grandes perfeccionamientos y extendiéndolas, no sólo por el territorio italiano, sino por las provincias. Más adelante se describirán estas vías: baste ahora dejar consignado que su principal objeto era facilitar la movilización de las legiones y la buena administración de Imperio tan dilatado, y que contando sólo las calzadas de mayor im-

(1) Todavía existe el de Bagdad á Ispahán.

portancia, se estima que pasaba su desarrollo de 19.000 kilómetros (1).

EDAD MEDIA (2).—Después de la invasión de los bárbaros no se conservaron los caminos: en el siglo VII de nuestra Era no había en Francia más calzadas que las construídas por los romanos, y aun éstas se hallaban de todo punto intransitables; algunas se repararon, aunque groseramente, en tiempo de la reina Brunehilda, nombre con que se conocen todavía los trozos que se conservan, sobre todo en Bélgica y en los departamentos del Norte y del Paso de Calais en Francia.

Carlomagno tuvo que poner en buen estado los caminos para dar cima á sus empresas guerreras; pero después de él, mermado el poder regio y en su auge el feudalismo, volvieron á abandonarse, sin que el público los echase muy de menos, porque hasta los señores más encopetados viajaban á caballo, y á lomo también se transportaban las pocas mercancías que eran objeto de comercio en naciones y provincias destrozadas por guerras continuas.

Esto no quiere decir que durante la Edad Media no se ejecutasen ciertas obras de caminos, además de las indicadas. En España misma algunas se acometieron en tiempo de D. Alfonso *el Sabio*; pero fueron hechos aislados, que lejos de invalidar, confirman la idea generalizada acerca del mal estado de las vías de comunicación.

En el período histórico que se considera debieron de

(1) Bergier, *Histoire des grands chemins de l'Empire Romain*: Bruselas, 1736.

(2) Debauxe, *Routes*: París, 1873.

construirse por los Incas del Perú los portentosos caminos de que se conservan trozos que causan admiración á los viajeros. Entre todos aquéllos merecen especialísima mención los dos que enlazaban á Quito y el Cuzco: uno abierto á lo largo de la elevada meseta de los Andes, salvando obstáculos que, como dice Prescott, intimidarían aun en la actualidad á los Ingenieros, y siguiendo el otro traza mucho más próxima al Pacífico. Cada una de estas calzadas medía alrededor de 3.000 kilómetros, y en particular la primera es de tal magnitud, que la coloca Humboldt entre las obras más gigantescas de los hombres.

EDAD MODERNA.—La situación lamentable de las vías se prolongó por mucho tiempo y en todos los Estados europeos. Los caminos que existían en España hasta mediados del siglo XVIII no eran más que simples veredas, en que se mejoraban algún tanto los pasos difíciles, construyendo á veces puentes y otras obras de consideración, con recursos que provenían, ya de la munificencia de los Monarcas, ya de fondos suministrados por los pueblos ó señores, ya del impuesto conocido con el nombre de *prestación personal*.

No era mucho más halagüeño el cuadro que presentaban naciones más adelantadas que la nuestra, aun años después de la fecha señalada. Es verdad que en Francia se habían construído, en tiempo de Luis XIV, algunos caminos en la proximidad de París, y que se continuó más tarde la ejecución de la red; pero no es menos cierto que al Ingeniero Trésaguet se deben los primeros estudios serios sobre construcción de caminos (1775), y que antes de la supresión de las prestaciones

personales (1764), las calzadas francesas, sin excluir las más importantes, se encontraban en estado lastimoso. Hasta fines del siglo último no se podía transitar por los caminos ingleses: refiere Arturo Young, hablando de las carreteras de los condados de Lancaster y Newcastle, que en 1770 estaban *espantosas*; que tenían rodadas llenas de lodo, de más de un metro de profundidad, y que se necesitaba el concurso de dos hombres para impedir que volcasen los carruajes (1). Y semejante situación se prolongó bastantes años, pues que en 1816 aseguraba Mac-Adam que las carreteras estaban malas, por defectos de construcción unas, y otras por falta de conservación.

Volviendo á lo que atañe á España, los primeros caminos propiamente dichos se construyeron en 1749, reinando Fernando VI, y fueron el de Reinosá á Santander, y el paso de la sierra de Guadarrama, en la carretera de Castilla. Con gran parsimonia se continuó ejecutando algunas vías, pues al finalizar el siglo último la longitud de caminos en explotación, que, por otra parte, estaban pésimamente conservados, sólo era de unos 1.865 kilómetros; por manera que en el período de cincuenta y un años no se construyó más que á razón de 36 ó 37 kilómetros anuales, á pesar de estar comprendido en aquél el famoso reinado de Carlos III.

En 1799 entraron las carreteras en una época relativamente próspera, merced á las disposiciones administrativas que se dictaron, y muy en especial á la creación del

(1) Cantalupi, *Trattato pratico per la Costruzione delle Strade e per la loro manutenzione*: Milán, 1886.

Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, que dotó al país de funcionarios idóneos para los trabajos á que se habían de consagrar. Tan pronto se notaron los resultados, que en 1808 la red de caminos medía ya un desarrollo de 3.885 kilómetros.

La guerra de la Independencia absorbió á principios del siglo todas las fuerzas vitales de España, y nada tiene de extraño que desde 1808 á 1814 no se hiciera más que emprender algunas reparaciones urgentísimas para poder pasar por caminos destruídos casi por completo en aquella gigantesca lucha.

De 1814 á 1834, es decir, desde la restauración de Fernando VII hasta el principio de la Regencia de María Cristina de Borbón, se nota sensible retroceso hacia el antiguo desorden: el Cuerpo de Ingenieros desaparece durante todo este período, exceptuando el cortísimo intervalo de 1820 á 1823, y sólo se habilitan en veinte años 805 kilómetros de caminos. La red española no pasaba, pues, de 4.690 kilómetros al subir Isabel II al Trono, con la circunstancia de que buena parte de esa longitud se refiere, no á carreteras construídas, sino á trozos de caminos naturales, mejor ó peor habilitados, para asegurar el tránsito en medianas condiciones.

Desde fines de 1833 á principios de 1856 se inaugura una era favorable para el desarrollo de los intereses materiales, á pesar de los cuantiosos gastos originados por una guerra civil de siete años. Las mejoras administrativas y la excelente dirección impresa á los trabajos por los Ingenieros que desde 1839 empezaron á salir de la reorganizada Escuela de Caminos, explican que

en estos veintitrés años se lograra construir 4.730 kilómetros, esto es, mayor longitud que en toda la larga época de 1749 á 1833 (1).

Desde 1856 hasta nuestros días la construcción de caminos ordinarios ha seguido desenvolviéndose ordenadamente, si bien con mayor ó menor rapidez, según los recursos que se han podido consignar en los presupuestos del Estado. Por regla general, se ha atendido asimismo á la regular conservación de los abiertos al público, exceptuando cortos períodos en que, á consecuencia principalmente de guerras civiles en la Península ó en alguna provincia de Ultramar, se ha descuidado tan importante asunto, originándose más tarde grandes sacrificios para el Erario, por tener que realizar costosísimas obras de reparación.

De la última Memoria de Obras públicas, relativa á Carreteras, resulta que los 57.101 kilómetros que comprendía el plan, en 31 de Diciembre de 1889, se descomponían, en la fecha indicada, del modo siguiente:

	Kilómetros.
En explotación.....	27.008
En construcción.....	4.990
En proyecto aprobado.....	2.547
En estudio.....	12.058
Sin estudiar.....	10.179
Abandonados ó á cargo de Corporaciones (2).....	719
TOTAL.....	57.101

(1) Los interesantes datos que preceden relativos á las carreteras de España, se han tomado de la *Memoria sobre el estado de las Obras públicas en España en 1856*, presentada al Ministro de Fomento por el entonces Director general, D. Cipriano Segundo Montesino.

(2) Los kilómetros abandonados ó á cargo de Corporaciones se refieren á carreteras próximas y paralelas á ferrocarriles, que el Estado dejó de conservar en 1870, invitando á las Diputaciones provinciales y Ayunta-

Resulta de los números anteriores que la longitud de carreteras terminadas representa el 47 por 100 de la total, y el 8 por 100 la de trozos en curso de ejecución. Puede asegurarse que al escribir estas líneas (principios de 1892), se encuentran abiertos al tránsito más de 28.000 kilómetros de carreteras.

Todo lo dicho se refiere á los caminos que corren á cargo del Estado; para formarse idea completa de la extensión total de la red española, hay que agregar los *provinciales* y *vecinales*, es decir, los costeados por las Diputaciones y Ayuntamientos. Desgraciadamente en este ramo, salvo honrosas pero contadas excepciones, poco han hecho aquellas entidades, y reina en materia de carreteras desorden tan pavoroso, que la Administración central, á pesar de las prescripciones legales, carece en absoluto de antecedentes respecto á algunas provincias. Sea como quiera, á continuación se expresan los datos que se consignan, relativos á 31 de Diciembre de 1889, en la citada Memoria de Obras públicas:

	Carreteras provinciales.	Caminos vecinales.
	Kilómetros.	Kilómetros.
En explotación	6.440	18.555
En construcción	1.009	1.661
En proyecto aprobado.....	2.767	1.249
En estudio.....	1.699	1.220
Sin estudiar.....	10.932	18.232
TOTALES.....	22.847	40.917

mientos á que se encargasen de este servicio. No dió la medida todo el resultado apetecido: los pueblos solicitaron con ahinco que los trozos abandonados, que sumaban unos 2.600 kilómetros, volvieran á poder del Estado, y así se ha ido haciendo, quedando ya tan sólo sin conservar por aquél los 719 kilómetros que figuran en el cuadro precedente.

Agrupando los caminos ordinarios del Estado, de las provincias y de los pueblos, se obtienen los resultados siguientes, que, aunque no rigurosamente exactos por las deficiencias de las estadísticas provincial y municipal, arrojan suficiente luz sobre el desarrollo actual de los caminos ordinarios en España:

	Kilómetros.
En explotación.....	52.003
En construcción.....	7.260
En proyecto aprobado.....	6.563
En estudio	14.977
Sin estudiar.....	39.343
Carreteras del Estado abandonadas ó á cargo de Corporaciones.....	719
TOTAL GENERAL.....	<u>120.865</u>

52.000-kilómetros de caminos abiertos al tránsito público, aunque es de suponer que muchos de los vecinales no serán verdaderas carreteras, sino habilitaciones de caminos antiguos, constituye un estado, si no próspero, muy halagüeño, comparado con el que presentaba nuestra patria hace treinta años, y desde luego bastante superior al que nos suponen los extranjeros. El Ingeniero italiano Cantalupi, en el extenso tratado de Caminos que ha dado al público en 1886, manifiesta que las carreteras construídas en España por el Estado miden 14.926 kilómetros, y que el desarrollo de las provinciales, vecinales y particulares asciende á 3.585, de los cuales 2.010 se hallan en estudio: estos guarismos podrán haber sido exactos en alguna época, pero no hubiera estado de más que la precisara el autor.

Aunque mucho se haya adelantado y sea de justicia

reconocer que el progreso se debe en gran parte al celo de los Ingenieros de Caminos, cuyos servicios en el ramo de Carreteras bastarían para hacerles acreedores á la consideración del país, mucho resta por ejecutar. A los altos poderes toca el fomento de las obras, dedicando á ellas las sumas que permita la situación de la Hacienda, y á los Ingenieros corresponde seguir dando pruebas inequívocas de interés en la administración de los caudales públicos. Bien merece la pena de consagrar atención extraordinaria á un servicio que sobre ser de vital importancia para la industria, la agricultura y el comercio, consume siempre cantidades muy considerables, aun en épocas en que, como la presente, se trata de reducir los gastos al mínimo posible: basta consignar que en el presupuesto que acaba de presentar el Gobierno para el ejercicio de 1892-93, excede de 42 millones de pesetas la suma consignada para estudios y obras nuevas, reparación y conservación de carreteras del Estado, sin incluir los sueldos del personal facultativo ni el costo de la Administración central.

EXTENSIÓN DE LAS REDES DE CARRETERAS EN ALGUNAS NACIONES DE EUROPA.—Daráse fin á esta reseña con dos cuadros comparativos de los caminos en explotación en diferentes países. Sensible es no poder referir las longitudes á una misma fecha, por carecer de los oportunos datos, y que aun los que se estampan no merezcan completa fe: ya se ha indicado que no hay medio de obtener rigurosa exactitud respecto á España, y puede colegirse la imposibilidad de adquirir noticias fidedignas acerca de otras naciones.

NACIONES.	Clasificación de los caminos.	LONGITUDES		Año a que se refieren los datos.	Millares de kilómetros cuadrados.	Millones de habitantes.	Longitud de caminos por kilómetro cuadrado. — Metros.	Número de habitantes por kilómetro de camino.
		Parciales. — Kilómetros.	Totales. — Kilómetros.					
ESPAÑA.	Del Estado.	27,008	52,003	1889	504,5	17,5	103	336
	Provinciales.	6,440						
	Vecinales.	18,555						
FRANCIA. ...	Nacionales.	37,803	500,984	1888	536,4	38,2	934	76
	Departamentales.	30,554						
	Vecinales.	432,627						
ITALIA.	Nacionales.	8,297	111,183	1877	296,3	27,8	375	250
	Provinciales.	25,114						
	Comunales.	77,772						
INGLATERRA.	Principales.	38,600	199,500	»	314,6	37,9	634	190
	Comunales.	160,990						

Observaciones sobre el estado anterior.—1.^a Los datos de extensión superficial de España, se han tomado de la *Reseña* publicada en 1888 por el Instituto Geográfico. El guarismo de población corresponde al censo de 1887.

2.^a El desarrollo de los caminos franceses consta en el *Censo de la circulación* verificado en 1888 y en el *Anuario de Francia* para 1886.

3.^a Las noticias referentes á Italia se especifican en la obra ya citada del Sr. Cantalupi, que á su vez las ha tomado de la Monografía publicada por el Ministerio de Obras públicas.

4.^a Las longitudes de las carreteras de Inglaterra aparecen en la misma obra italiana. Deben acogerse con reserva, por el temor de que sean tan defectuosas, ó á lo menos tan atrasadas, como las que aplica á España.

5.^a Las extensiones superficiales y población de Francia é Inglaterra se han tomado del Almanaque de Gotha para 1892.

El estado precedente corrobora lo que antes se indicó, esto es, lo mucho que queda por hacer en España para que figure dignamente al lado de otras naciones, en punto á caminos ordinarios; pero conviene llamar la atención sobre la circunstancia de que no puede atribuirse el que nos quedemos rezagados á la Administración central, que ha ejecutado vías comparables en longitud á las nacionales ó principales de los países más adelantados, sino al escaso desarrollo que alcanzan las carreteras provinciales, y sobre todo los caminos vecinales, respecto de otros Estados.

Elemento digno de considerarse es la relación entre las longitudes de caminos ordinarios y ferrocarriles; el cuadro que se inserta á continuación acusa palpablemente que nuestra red de carreteras es exigua comparada con la de caminos de hierro:

NACIONES.	Red de caminos ordinarios en explotación. — Kilómetros.	Red de ferrocarriles en explotación. — Kilómetros.	Número de kilómetros de caminos ordinarios, por kilómetro de ferrocarril.	OBSERVACIONES.
ESPAÑA....	52.003	9.776 (1)	5,3	(1) En 31 de Dbre. de 1889.
FRANCIA...	500.984	36.697 (2)	13,7	(2) En 31 de Dbre. de 1890.
ITALIA....	111.183	13.163 (3)	8,4	(3) Íd. íd. íd.
INGLATERRA	199.500	32.304 (4)	6,2	(4) En 1890.

Debe advertirse que los guarismos estampados en la última columna relativos á Italia é Inglaterra son notablemente inferiores á los que en realidad corresponden, porque las longitudes de carreteras y ferrocarriles se refieren á fechas bastante diferentes. Por otra parte, es muy de temer, según se expuso en renglones anteriores, que el desarrollo señalado á los caminos ordinarios del Reino Unido sea erróneo: á pesar de la diligencia con que se ha procurado adquirir datos fidedignos, no ha sido posible lograrlo.

PLAN DE LA OBRA.

Se divide esta obra en cuatro secciones. Conságrase la primera al estudio somero de vehículos y motores, pues parece lógico conocer la naturaleza del tráfico que ha de efectuarse por una vía de comunicación para darse cuenta de los requisitos á que ésta ha de satisfacer. En la segunda, se describen detalladamente los diversos sistemas de caminos afirmados, las condiciones de establecimiento y el modo de ejecutar las obras: todo lo relativo á su conservación y reparo constituye la sección tercera. En la cuarta y última, se exponen el estudio de trazas y la manera de presentar los proyectos, asuntos que se desenvuelven mejor cuando se han examinado las dificultades que hay que vencer en la construcción y conservación. La mayor parte de los autores comienzan los tratados de Carreteras por el estudio de las trazas: quizá esté equivocado el que esto escribe, pero una larga práctica de enseñanza le ha hecho adquirir la idea de que los alumnos aprovechan más las lecciones siguiendo el orden que se ha indicado.

Termina el libro con dos apéndices: en el primero se incluyen el pliego de condiciones generales y los formularios para la redacción de proyectos de carreteras, documentos á que se da cabida previa autorización de la Superioridad; el segundo se reduce á una ligera descripción de las calzadas romanas.

SECCIÓN PRIMERA.

VEHÍCULOS Y MOTORES.

CAPÍTULO I.

VEHÍCULOS.

Es evidente que la disposición de los vehículos y de las vías por que han de transitar deben guardar entre sí estrechas relaciones, y que, por tanto, en el establecimiento de un camino no se puede prescindir de tener muy en cuenta la naturaleza de los medios de transporte á que se destina. Sin embargo, al Ingeniero le bastan ideas muy ligeras acerca de este punto, al que sólo se consagrarán breves renglones.

De los vehículos que frecuentan los caminos ordinarios, unos están dedicados exclusivamente al transporte de mercancías, como los carros, carretas, galeras y camiones; otros al servicio de correos y conducción de viajeros, por ejemplo, las sillas de postas, diligencias, ómnibus, tartanas, etc.; otros, por último, entre los que se cuentan los tálburis, berlinas, carretelas y sus similares, se emplean como coches de paseo ó para recorrer distancias cortas, sobre todo en el interior ó la proximidad de poblaciones.

Disposición general.—Los vehículos pesados, carros ó carretas (que se diferencian entre sí en que éstas van tiradas por bueyes y aquéllos por caballerías), tienen un *eje*, y por consiguiente dos *ruedas*; las galeras y camiones constan de dos ejes y cuatro ruedas. Los carruajes destinados á transporte de viajeros ó á paseo, son siempre de cuatro ruedas para darles más estabilidad y mayor suavidad en el movimiento, excepto los casos en

que se busca ante todo gran ligereza, como sucede con los tilburis, calesas y algunas tartanas.

En el eje ó ejes insiste la *caja* del vehículo, de forma variadísima y de construcción más ó menos esmerada, según el servicio que haya de prestar. La caja se apoya directamente en los ejes en los carruajes de carga, y en algunos, aunque pocos, de los empleados para la conducción de personas: en la inmensa mayoría de éstos, aquélla va suspendida por medio de muelles ó resortes, denominados *ballestas*, que tienen por objeto hacer menos sensibles las sacudidas.

Al eje único en los carruajes de dos ruedas y al delantero en los de cuatro, se unen perpendicularmente la pieza ó piezas que se utilizan para efectuar el enganche de los motores: cuando hay una sola pieza, ó *lanza*, la unión con el eje se verifica en su punto medio; por el contrario, si las piezas son dos, que se llaman *varas* ó *limonera*, arrancan de cerca de cada uno de los extremos del eje.

Si á las partes que se han indicado se añaden los *frenos* de que van provistos gran número de carruajes á fin de convertir en las bajadas, total ó parcialmente, la rodadura en deslizamiento, se tendrá ya idea de la disposición general de los vehículos, materia en que no es preciso detenerse, salvo puntualizar lo relativo á ruedas, ejes y frenos.

Ruedas.—Las ruedas son casi siempre circulares, y constan: 1.º, del *cubo* ó núcleo central en que se introduce el eje; 2.º, de las *pinas* que forman la parte que rueda directamente sobre el suelo, y que se componen de los *camones*, ó sean los trozos de madera encorvada del contorno, y de la *llanta* ó banda circular de hierro que los ciñe, tanto para asegurarlos, como para disminuir los efectos del roce; y 3.º, de los *rayos* ó piezas de madera que se ensamblan por un extremo en el cubo y por otro en los camones.

En los vehículos ligeros y en muchos de los pesados, la superficie de la llanta es perfectamente lisa; mas en algunos carros resaltan las cabezas de los clavos que la unen á los camones: esta disposición desagrega rápidamente los firmes; y como aumenta los rozamientos, claro es que exige mayor fuerza de tracción. Á pesar de todo, siguen construyéndose llantas con clavos de resal-

to, y no se consiguió desterrarlas con el subido arancel que se les aplicaba cuando existía el impuesto de portazgos. La razón es muy sencilla: demasiado saben los que se dedican á la industria de transportes que con tales llantas dificultan la tracción por carreteras; pero saben también que en los caminos naturales que tienen que recorrer á veces, ya antes de entrar en la carretera, ya después de salir de ella, necesitan aumentar el rozamiento del vehículo con el terreno para no exponerse á continuos vuelcos. Dése impulso á la construcción de caminos, sobre todo provinciales y municipales, y bien pronto se verá que van desapareciendo los clavos de resalto.

Los rayos pudieran estar en el mismo plano que los camones; pero de ordinario se disponen de modo que formen una superficie ligeramente cónica, á fin de hacer algo elásticas las ruedas y aumentar el ancho, y por tanto la capacidad de la caja, sin dar mayor extensión al eje ó á la *batalla*, que es la distancia que separa á las dos ruedas montadas en él. La longitud del cubo es igual ó algo más grande que el diámetro de su sección recta.

El radio de las ruedas de vehículos pesados suele variar entre 0^m,25 y un metro. En los coches de cuatro ruedas, las dos del juego delantero son bastante menores que las del trasero, y puede girar el eje correspondiente alrededor de una línea vertical ó *clavija maestra*, con objeto de que sea factible que el carruaje cambie de dirección y recorra alineaciones curvas. El menor tamaño del juego delantero facilita el giro y permite que, al dar vuelta, queden sus ruedas debajo de la caja: sin este artificio sería indispensable disminuir mucho la capacidad de los vehículos. Claro es que las ruedas del juego delantero darán, á igualdad de tiempo, mayor número de vueltas que las otras, y que en las curvas las ruedas exteriores habrán de salvar distancia más larga que las interiores, caminando, por consiguiente, éstas con menor velocidad que aquéllas. Todo esto se consigue, á la vez que reducir los rozamientos de las diversas partes de los vehículos á los que se desarrollan en la unión de los cubos con los ejes, haciendo á éstos fijos y girando libremente las ruedas. Tal es la disposición que por lo común se adopta, menos en algunas carretas en que conviene que aumenten los efectos del roce y se hace que las rue-

das sean solidarias con su eje, el cual tiene que girar al verificarse la tracción.

El ancho de las llantas depende del diámetro de las ruedas y de las dimensiones del eje; pero aparte de esto, se ha discutido hasta la saciedad por hombres eminentes en la ciencia el influjo que pudiera tener en la tracción. Preocupada la opinión pública en Francia con los resultados de los experimentos realizados en Metz por el general Morin, de que habrá de hablarse más adelante, llegó á promulgarse una ley de tracción, que estuvo vigente algunos años, y en la que se prefijaba, entre otras cosas, la anchura mínima de las llantas para cada carga, determinándola de suerte que la presión sobre el suelo, por centímetro cuadrado, variase entre límites próximos. En España no se llegó á tanto; pero sí se recargaron en los aranceles de portazgos los derechos exigibles á los vehículos de llantas estrechas. En la actualidad han desaparecido todas estas trabas, y reina, como es justo, completa libertad en la materia, tanto porque experimentos posteriores han evidenciado las inexactitudes cometidas por Morin, cuanto porque la práctica diaria demuestra que, aunque así no fuere, la precaución de ensanchar las llantas resulta ilusoria, en atención á que se hacen convexas al poco tiempo de funcionar. La anchura en las ruedas de carros y carretas varía de 0^m,06 á 0^m,17; sin embargo, en algunas carretas dedicadas al transporte de bultos muy pesados, como grandes sillares, llega á medir 0^m,20 y hasta 0^m,25 (1).

La forma y disposición descritas en los párrafos precedentes son las que comúnmente afectan las ruedas. No obstante, en algunos puntos de Asturias y Galicia se usan carretas de ruedas elípticas, de suerte que los ejes sólo quedan horizontales en determinadas posiciones de aquéllas: el objeto que se persigue es aumentar los rozamientos para que los vehículos no resbalen en los carriles pendientes y casi intransitables que á veces recorren (2).

Aún más frecuente en las provincias del litoral Cantábrico es formar las ruedas para carretas con un disco de madera macizo ó

(1) Durand-Claye, *Routes*: París, 1885.

(2) *Curso autografiado de Carreteras, de la Escuela de Caminos*: Madrid, 1873.

aligerado, provisto de una abertura para recibir el eje, y al que se clava la llanta.

Ejes.—Los ejes se construyen de hierro ó de madera, siendo el primero el material más empleado. Como sobre ellos descansa la carga, hay que darles suficiente sección para que resistan en buenas condiciones; aquélla dependerá asimismo de la longitud del eje, que conviene disminuir todo lo posible. Á esta consideración responde también el disponer los rayos de suerte que sean generatrices de una superficie cónica, aun pasando por el inconveniente de que produzcan sacudidas laterales, tanto más violentas cuanto más defectuoso sea el ajuste de los extremos del eje ó *pezones* con las *pezoneras* ó *bujes* de los cubos. La longitud de los ejes no es común que pase de dos metros en los vehículos de carga, baja á 1^m,80 en las diligencias y á veces no llega á 1^m,50 en los coches particulares (1).

La sección transversal de los ejes es casi siempre rectangular (de 0^m,04 á 0^m,16 de altura, y de 0^m,03 á 0^m,13 de ancho), excepto los pezones, que han de ser superficies de revolución, y que se hacen cónicos ó cilíndricos: por regla general se da la preferencia á aquéllos, porque ajustan mejor en los bujes y permiten reducir los huelgos ocasionados por el desgaste. Los extremos de los ejes se inclinan lo necesario para que los rayos, al insistir en el terreno, lo verifiquen normalmente.

Los pezones sobresalen poco del extremo de los cubos, unos 0^m,06 como máximo, y llevan una chabeta ó tuerca que impide que se salga la rueda.

Frenos.—El freno más común en los carros ordinarios es la *galga*, que consiste en un palo fuerte, que se aprieta contra la parte inferior de uno de los cubos por medio de ligaduras de cuerdas, consiguiendo así dificultar ó evitar la rodadura: defiéndense á veces las ruedas del roce de las galgas con un aro metálico embutido en las pinas. Los carruajes de camino y muchos particulares llevan el *torno*, que consta de dos zapatas de hierro ó madera, unidas por un travesaño, que puede ser también de los dos materiales indicados, y que por un sencillo mecanismo de palan-

(1) Durand-Claye, *Routes*.

cas que se maneja desde el pescante, se aplican á las llantas, oprimiéndolas lo que convenga. Por último, el freno más poderoso es la *plancha*, placa de hierro que se coloca debajo de una de las ruedas, y que convierte por completo la rodadura en resbalamiento: este sistema tiene el inconveniente de que no permite la aplicación gradual como los anteriores; así es que sólo se utiliza para la bajada de pendientes de inclinación excepcional.

CAPÍTULO II.

MOTORES.

Motores que se emplean y modo de disponer el tiro.—Los animales que se emplean en la tracción de vehículos varían con las localidades. En España se usan bueyes para las carretas, y caballerías mayores y menores, esto es, caballos, mulas y asnos, para los demás carruajes.

Cuando se dispone el tiro con una sola caballería, se la coloca entre las varas: si son dos los motores, cada uno de ellos va de un lado de la lanza. Esta última disposición se adopta casi universalmente en las carretas, pues no hay costumbre de utilizar la fuerza de los bueyes más que por yuntas: estos animales ejercen su acción con la cabeza, unciéndolos á una pieza corta de madera ó *yugo*, perpendicular á la lanza en su extremo. Las caballerías mayores y menores tiran indistintamente de vehículos de lanza ó de limonera, desarrollan el esfuerzo de tracción con los músculos del pecho y llevan la cabeza libre, verificándose el enganche por intermedio de guarniciones de correas ó cuerdas, en cuya descripción no hay para qué entrar, bastando saber que se disponen de modo que molesten lo menos posible á los animales, y que permitan el mayor aprovechamiento del esfuerzo.

Cuando el peso de la carga lo requiere, se aumenta el tiro. En las carretas, por lo general, no se emplea más que una yunta; pero cuando es indispensable, se colocan otra ú otras delante de la primera. En los vehículos tirados por caballerías, las disposiciones son muy variadas. En los carruajes de varas pueden colocarse las caballerías una en pos de otra, constituyendo lo que se

llama *realta*, que es el sistema menos á propósito para utilizar su fuerza, pero que lo impone á menudo la estrechez de los caminos naturales; otras veces se coloca una caballería en bolea á cada lado de la que va en varas, y si se necesita aún mayor tiro, se enganchan delante dos ó tres más, como se ha practicado siempre en las diligencias francesas y se usa ya mucho en España. Si el vehículo es de lanza, se acostumbra disponer los motores pareados, aunque á menudo no va delante más que una caballería. Aparte de los enganches señalados, que son los comunes, hay otros muchos que sería prolijo reseñar: bastará decir que en vehículos de varas se ponen algunas veces los motores pareados ó en troncos.

Se dará ligera idea de las circunstancias que más influyen en el trabajo desarrollado por los motores, que son: 1.º, su peso; 2.º, la carga que arrastran; 3.º, la velocidad de marcha, y 4.º, el esfuerzo medio que de ellos puede exigirse. Las observaciones se referirán á los caballos y mulas, por ser los más usados: en nuestro país ofrecen mucho mayor interés las últimas; pero los estudios hechos en el extranjero versan casi exclusivamente sobre caballos, á causa de estar muy poco generalizados los tiros de mulas.

Peso de los motores.—Así como la alzada de los caballos oscila entre un metro y 1^m,80, el peso varía también entre límites bastante separados: 300 y 600 kilogramos. Del censo de la circulación efectuado en Francia en 1888, han resultado los pesos medios de 523 kilogramos para los caballos de carruajes de carga, de 462 para los de diligencias y ómnibus y de 428 para los de coches particulares.

El peso de las mulas usadas en la tracción de vehículos pesados en España está sujeto todavía á mayores divergencias: de las observaciones recogidas se desprende que se halla comprendido entre 150 y 575 kilogramos, aun cuando lo más común es que varíe de 200 á 350, excepto las mulas destinadas al arrastre de piezas de artillería, que suelen pesar de 400 á 500 kilogramos (1).

(1) Estos datos y los que más adelante se estampan relativos á mulas, están tomados de las noticias suministradas por oficiales de Artillería, por Ingenieros de las provincias de Cáceres, Córdoba, Coruña, Cuenca, Mála-

Cargas que pueden arrastrar.—Las cargas que arrastran los motores dependen principalmente de la naturaleza y número de éstos, de la superficie y perfil longitudinal del camino y de la manera de verificar el enganche.

La observación ha demostrado que el esfuerzo utilizable disminuye con bastante rapidez, á medida que aumenta el número de motores que constituyen el tiro. Según Durand-Claye, si en un tiro compuesto de uno ó dos caballos se representa por 1 el peso arrastrado por cada uno, redúcese sucesivamente á 0,91, 0,89 y 0,76 cuando en la tracción se aprovechan tres, cuatro ó cinco caballerías. Y es de advertir que sin duda supone aquel Ingeniero que éstas se dispongan en filas de dos ó tres, pues las reatas determinan disminuciones más acentuadas. En España puede admitirse, como término medio, que la carga individual se reduce, en reatas que pasen de cinco mulas, á poco más de la mitad de lo que correspondería á cada animal si tirase aisladamente. Sin embargo, con ganado muy escogido, excelentes guarniciones y bien guiado, se aminora bastante la pérdida: así, en los carros catalanes de la artillería de sitio, tirados por seis mulas en reata, se calcula que cada una produce una pérdida de 100 kilogramos de peso arrastrado, con relación á la que va detrás; de modo que, apreciándose en 900 kilogramos la carga para la mula de varas, la total no pasa nunca de 3.900, resultando, por tanto, una pérdida de 28 por 100 (1). El sistema de enganche ejerce también influencia marcada: si en el mismo caso que acaba de considerarse se dispusiesen las seis mulas pareadas, podrían arrastrar hasta 4.800 kilogramos, perdiéndose sólo 11 por 100. Sea como fuere, el menor aprovechamiento de la fuerza, á medida que aumentan los motores, no es difícil de explicar. En primer término, cuando los animales van colocados en varias filas, tienen que vencer, no sólo las resistencias á la rodadura, sino las que oponen las guarniciones que sirven de enlace; en segundo, los motores no tiran en la misma dirección, y sus esfuerzos se destruyen parcialmente, lo que se manifiesta sobre todo en las

ga, Murcia y Toledo, y por los Jefes de Sección del ferrocarril en construcción de Plasencia á Astorga.

(1) Guáu, *Prontuario de Artillería*.

reatas y en las alineaciones curvas de pequeño radio; por último, la vigilancia del mayoral ó carretero no puede ser tan activa cuando ha de repartir su atención entre varios animales á la vez.

Partiendo de estos hechos, ocurre la duda de si convendría proscribir para el transporte vehículos que exigiesen para su arrastre más de un motor, con la sola excepción del acarreo de pesos grandes é indivisibles. Muy lejos de eso: aunque se utilice peor el esfuerzo individual, los carruajes tirados por varios animales presentan, dentro de ciertos límites (que las leyes francesas fijan en ocho caballos y cinco filas, como máximo), irrecusables ventajas. Se comprenderá con sólo fijarse en que lo que se ha dicho se refiere al peso bruto transportado, y lo que en la industria conviene tener en cuenta es el peso útil, ó carga propiamente dicha, que crece con bastante más rapidez que el peso muerto, ó sea el del vehículo. Aparte de esta consideración, no deja de influir también en la economía que se obtiene con los grandes tiros, los menores gastos de adquisición y conservación de vehículos y de jornales de conductores, referidos, por supuesto, á un mismo peso transportado. Á pesar de todo, no hay necesidad de decir que los carros de una caballería encuentran excelente aplicación en multitud de casos.

Además de las circunstancias indicadas, en la carga total arrastrada por caminos bien conservados influyen los pesos de los motores y la inclinación y longitud de las rasantes. Los términos medios que han resultado en Francia del censo de 1888 son los siguientes:

NATURALEZA DE VEHÍCULOS.	Peso medio de cada caballo. — Kilogramos.	Carga por caballo. — Kilogramos.
Para transporte de mercancías (cargados)..	523	1.482
Diligencias y ómnibus.....	462	349
Coches particulares.....	428	493

Como se ve, llamando p al peso del caballo, los números de la última columna son aproximadamente $3p$, $2p$ y p .

En España, considerando tan sólo la tracción en galeras, carros y volquetes, cabe establecer que las cargas por cada mula varían entre vez y media y cuatro veces el peso de aquélla, correspondiendo el máximo á tiros de una ó dos caballerías y á caminos cuyas pendientes no rebasen el 3 por 100, y el mínimo á reatas de más de cinco motores, que tengan que salvar las cuestas ordinarias en carreteras. Como término medio general, la carga por motor viene á ser doble del peso de éste, regla usada también por el Cuerpo de Artillería. En suma, á igualdad de peso del tiro, la carga en España es menor en $\frac{1}{3}$ que la que resulta en Francia, lo que se debe, no á que las mulas sean menos á propósito que los caballos, sino á que en nuestro país se usan mucho más las reatas, y á que las carreteras, por razones que no son de este lugar, pero que se especificarán más adelante, no están conservadas con la perfección que las francesas.

Velocidades y duración de la marcha.—Las caballerías pueden marchar á tres *aires*: *paso*, *trote* y *galope*; mas las velocidades correspondientes dependen, no sólo de la clase á que pertenece el animal, sino de las condiciones del individuo y de las resistencias que tenga que vencer; así es que presentan diferencias notabilísimas. Aun no considerando más que los caballos, las velocidades varían entre 0^m,40 y 1^m,80 por segundo para el aire de paso; de 2 á 5 metros para el de trote, y con el de galope llegan á 15 y 16.

Para el transporte de mercancías se marcha siempre al paso; para el de personas y correspondencia se va generalmente al trote, y en ciertos casos á galope, reservando el paso para la subida de rampas algo acentuadas ó largas.

La duración de la marcha diaria depende de la velocidad y del esfuerzo que ha de desarrollar el motor. Un caballo al paso, con carga proporcionada y velocidad que varíe de 0^m,80 á un metro por segundo, puede trabajar diez horas diarias, con tal que se intercalen uno ó dos descansos. Los caballos de diligencias suelen trabajar tres horas por día, en dos períodos iguales, sepa-

rados por un largo descanso, con velocidad que oscila entre 8 y 12 kilómetros por hora ($2^m,22$ á $3^m,33$ por segundo). Un caballo á galope tendido no puede marchar arriba de media hora ó tres cuartos de hora. Los caballos de carrera, que salvan un kilómetro en un minuto, no resisten más de cuatro ó cinco minutos.

Á las mulas empleadas en tracción pueden aplicarse casi los mismos números que á los caballos. Cuando tiran de vehículos cargados y van al paso, trabajan sin dificultad diez horas diarias, y recorren en cada una de 3 á 4 kilómetros, ó sea de $0^m,83$ á $1^m,11$ por segundo.

Esfuerzo desarrollado (1).—El caballo, considerado como motor, es una máquina susceptible de transformar parte de su esfuerzo en trabajo útil, y que conserva por largo período esta facultad, siempre que esté bien alimentado, que se le den los descansos necesarios y que funcione en buenas condiciones. La potencia absoluta de esta máquina no se ha determinado; pero parece que puede admitirse que es proporcional á su peso, y que su valor aproximado es, como luego se verá, de un número de kilogramos diarios igual al producto del peso del caballo por 10.000.

El trabajo útil es más fácil de conocer, pues si E mide el esfuerzo en un momento dado, v la velocidad y t el tiempo, considerado como variable independiente, el trabajo elemental será $Evd t$, y el trabajo diario, relativo á una duración T , $\int_0^T Evd t$. En el caso de ser constantes la velocidad y el esfuerzo, claro es que el trabajo diario será $E v T$.

Se representará el rendimiento diario del caballo por Dp , siendo p el peso del animal, pues que debe ser, lo mismo que la potencia absoluta, proporcional á esta última cantidad. Este valor es susceptible de un máximo, correspondiente al mejor modo de utilizar la máquina viva; en efecto, cuando el esfuerzo es excesivo ó cuando se exageran la velocidad ó la duración del trabajo, los otros dos factores del producto $E v T$ bajan considerablemente, y el

(1) Casi todo lo que se dice en este párrafo se ha tomado de la obra de Durand-Claye.

rendimiento disminuye con rapidez. Para un motor determinado y una clase de trabajo determinada también, existen valores respectivos de E , de v y de T que hacen máximo el producto, y de los cuales no cabe separarse mucho, sin que decaiga el trabajo útil.

Se han hecho repetidos experimentos acerca de este particular; pero la mayor parte de los autores han omitido al publicar los resultados un elemento tan esencial como el peso del caballo, de suerte que han llegado á consecuencias completamente contradictorias en apariencia. La manera más sencilla y exacta de hacer los experimentos en el caso general, cuando no son constantes el esfuerzo ni la velocidad, es disponer entre el motor y el vehículo de que tira ó la máquina en que actúa, un dinamómetro de Morin, cuyo muelle lleva, como es sabido, un estilo ó punzón en contacto con una hoja de papel, que se desarrolla con velocidad proporcional á la del motor, mientras que la flexión del resorte mide la tracción: de este modo el área de la curva que queda marcada en el papel tiene el mismo valor que

$$\int_0^T E v dt, \text{ y representa, por tanto, el trabajo.}$$

Augusto de Gasparin es el que ha practicado experimentos más completos (1), cuidando de consignar el peso de los caballos. En el cuadro siguiente se especifican los datos relativos á algunas de sus observaciones:

Vehículos ó máquinas en que actuaban los caballos.	Esfuerzo de tracción E . — Kilogramos.	Distancia recorrida en un día. — Kilómetros.	Trabajo diario $Dp = EvT$. — Kilográmetros.	Peso de los caballos p . — Kilogramos.	Trabajo diario específico D .
Arado.....	98	16,2	1.620.000	320	5.063
Arado.....	53	34,2	1.832.000	340	5.389
Carreta.....	45	42,8	1.928.000	360	5.356
Noria.....	40	43,2	1.728.000	320	5.400

(1) Gasparin, *Cours d'Agriculture*, tercera edición: París, 1863.

En estos experimentos la duración del trabajo diario fué siempre de diez horas. De ellos se desprende que el valor de D varía, en condiciones normales, entre 5.350 y 5.400, pues si es bastante menor en la primera observación, proviene de que á un caballo pequeño se le hacía desarrollar un esfuerzo muy grande (98 kilos), lo que lleva consigo, como ya se ha indicado, una disminución notable en el trabajo.

Se admite generalmente en la práctica que, según expresó Navier, un caballo enganchado puede recorrer en diez horas de trabajo, á la velocidad de $0^m,90$ por segundo, una distancia de 32.400 metros. Con tales hipótesis el esfuerzo de tracción se determinará por la expresión $32.400 E = 5.400 p$, de donde se deduce $E = \frac{P}{6}$. Para un caballo de 320 kilos de peso, el esfuerzo será, por consiguiente, de 53 kilos, y el trabajo diario de 1.728.000 kilográmetros. No conviene contar con un esfuerzo medio superior, á menos que se trate de un animal corpulento; pero téngase muy presente, y ésta es una consideración de la mayor importancia para lo sucesivo, que si en buenas condiciones no debe exigirse mayor esfuerzo continuo, no quiere decir que los motores animales no puedan desarrollar y no desarrollen en efecto, por corto espacio de tiempo, potencia muy superior á la normal.

El caballo, como todos los motores animados, tiene que producir, aparte del esfuerzo de tracción, el indispensable para vencer las resistencias pasivas que presenta su organismo; este último puede racionalmente suponerse proporcional á su peso y representarse por Kp , siendo K un coeficiente, que no será constante para cada clase de animal, sino que dependerá de la velocidad. El trabajo total, esto es, el necesario para vencer el debido á las resistencias orgánicas y á la tracción, se llama *fatiga* del caballo, y su expresión en el tiempo T será $\int_0^T (E + Kp) v dt$.

La fatiga específica, ó sea la referida al peso del caballo, es $\int_0^T \left(\frac{E}{P} + K \right) v dt$. En el caso de que el esfuerzo y la velocidad sean constantes, las dos fórmulas se reducen respectivamente á $(E + Kp) v T$ y $\left(\frac{E}{P} + K \right) v T$.

No se han efectuado experimentos para obtener los valores de K á diferentes velocidades. Si se admite: 1.º, que dicho coeficiente permanezca próximamente constante cuando el caballo anda al paso, ya tire de un vehículo, ya camine suelto; 2.º, que en estas últimas condiciones, recorra el animal 70 kilómetros al día, según resulta de los experimentos de Tredgold; y 3.º, que los caballos empleados en éstos sean análogos á los que usó Navier, podría establecerse la ecuación:

$$70.000 Kp = 5.400 p + 32.400 Kp,$$

de la que se deduce $K = \frac{1}{7}$. Sin embargo, ninguna confianza puede inspirar este número, que se ha obtenido partiendo de hipótesis muy aventuradas y combinando guarismos que han resultado de observaciones hechas con miras diversas, por personas diferentes y en circunstancias que, según todas las probabilidades, estarán muy lejos de ser comparables entre sí. No debe perderse de vista esta consideración, que es común á casi todos los valores numéricos relativos á motores animados.

Lo que sí es seguro que K aumentará con la velocidad: Durrand-Claye propone que se tome igual á $\frac{1}{5}$ para los caballos al trote.

Admitiendo, á falta de otros mejores, los números precedentes, claro es que si al paso, $K = \frac{1}{7}$, y si el trabajo total, según Tredgold, es 70.000 Kp kilográmetros, la potencia total del caballo será 10.000 p , como antes se indicó (pág. 31). Por otra parte, el trabajo útil que se puede alcanzar, en buenas condiciones, es 5.400 p , lo que justifica el dicho de que el caballo es una máquina, cuyo rendimiento al paso es de 54 por 100.

Si se carece de estudios referentes al caballo, respecto á los otros animales la falta es mucho mayor. El cuadro que sigue se ha tomado de la obra de Charpentier de Cossigny (1), y debe acogerse con bastante reserva, pues, aparte de que los datos relativos

(1) Charpentier de Cossigny, *Hydraulique agricole*, segunda edición: París, 1889.

al caballo difieren algún tanto de los que se dejan consignados, llama la atención el poco esfuerzo que se asigna á la mula. No se expresa el peso de los animales, y quizá este elemento explicase la anomalía.

CLASE DE ANIMALES.	Esfuerzo medio. — Kilogramos.	Velocidad por segundo. — Metras.	Trabajo útil en ocho horas de trabajo. — Kilogrametros.
Caballo.....	45	0,90	1.166.400
Buey.....	60	0,60	1.036.800
Mula.....	30	0,90	777.600
Asno.....	14	0,80	322.560

Conviene fijarse en la poca velocidad á que caminan los bueyes: en cambio, el esfuerzo medio que desarrollan es considerable. Estas circunstancias justifican que encuentren ventajosa aplicación en el acarreo de grandes pesos, y que no se utilicen para el transporte de viajeros, á no ser como *refuerzos* para hacer subir á los vehículos por rampas muy inclinadas. Respecto de lo tardío de su marcha, hay quien asegura que es sólo efecto de la costumbre: parece que en el siglo pasado había un buey en Francia que se enganchaba á diligencias, y superaba en velocidad á las caballerías (1).

Respecto á esfuerzos ejercidos por mulas, se han hecho experimentos en España en 1886 por los alumnos de la Academia de Artillería (2), empleando el dinamómetro de Morin y una ó dos parejas de mulas, y haciendo variar las pendientes hasta algo más del 7 por 100. Los esfuerzos medios oscilaron entre 151 y 38 kilogramos; la media general en un trayecto largo por carre-

(1) *Autografías de la Escuela*, 1873.

(2) Aranz, *Los mecanismos*: Madrid, 1889.

tera no pasaría seguramente de 75 kilogramos, que es el esfuerzo que se deduce de la fórmula $E = \frac{P}{6}$, suponiendo $\dot{p} = 450$.

Las nociones que anteceden, aunque muy incompletas por lo atrasado que se halla el estudio de motores animados, bastan, sin embargo, para que se comprendan los desarrollos en que habrá que entrar en la sección IV de esta obra.

SECCIÓN SEGUNDA.

DESCRIPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

CLASIFICACIÓN.

Si el terreno natural presentase siempre la consistencia necesaria para resistir sin deprimirse los esfuerzos producidos por la circulación, y si además su inclinación no pasara de los límites convenientes, no haría falta construir obras de ninguna especie para establecer el camino. Pero esto no ocurre nunca, pues aunque puede observarse que en casi todos los caminos rurales se efectúa el tránsito de vehículos sin preparación previa de la superficie del suelo, sabido es que en cuanto las aguas la reblandecen y la rodadura la va removiendo, el paso se hace punto menos que imposible; y si á ello se añade que las pendientes suelen ser exageradísimas, se comprenderá que sólo puedan franquear esos caminos carretas ó carros muy toscos, de escasa capacidad, consumiendo enorme fuerza de tracción, y, por encima de todo, con peligro continuo y sufriendo á veces accidentes lamentables. Se deduce, por tanto, que para asegurar al tráfico condiciones adecuadas, se requiere: 1.º, disponer una plataforma sobre la cual se verifique la circulación y que esté más baja unas veces y más alta otras que el terreno natural, para lograr que su inclinación no exceda de los límites que en cada caso se hayan fijado; 2.º, dar á esa plataforma la anchura necesaria para el servicio que ha de prestar, y construirla de suerte que no se deteriore fácilmente y que sus desperfectos tengan sencillo remedio.

Para realizar el primer requisito es preciso hacer *obras de explanación*, es decir, los desmontes y terraplenes que sean indispensables, para que el *perfil longitudinal* del camino, ó sea el desarrollo de la intersección de la superficie modificada del terreno con un cilindro de generatrices verticales, que tenga por directriz el eje de la vía, esté compuesto de una sucesión de líneas rectas (llamadas *rampas* cuando suben en el sentido que se supone á la circulación, y *pendientes* en el caso contrario), que no pasen de cierta inclinación con el horizonte y que además se hallen distribuidas aceptablemente.

Con objeto de evitar los deterioros de la plataforma, á consecuencia de las aguas, hay que cuidar de recoger y dar salida, tanto á las que vengan al camino desde los terrenos inmediatos, como á las que caigan directamente sobre él. Lo primero se consigue limitando la explanación en el terreno natural y en los desmontes, con *cunetas*; lo segundo, disponiendo la sección transversal en forma convexa ó cóncava, para que las aguas vayan á parar desde luego á las cunetas ó se acumulen en la parte central de la vía, dándoles después salida por los puntos que convenga. Pero aunque se lograra por todos estos medios que las lluvias no desagrasen el camino, la circulación produciría ese efecto en período no largo, y para evitarlo se extiende, en la necesaria anchura, un suelo artificial de suficiente resistencia, que se puede ejecutar de materiales muy diversos, si bien el más común en las carreteras es la piedra partida, suelo que constituye el *firme* ó *afirmado*. El firme, por regla general, está contenido en una *caja*, cuyas paredes laterales se denominan *mordientes*: es claro además que aquél no puede ocupar toda la latitud de la explanación, y, con efecto, se halla separado de las cunetas y de las aristas superiores de los terraplenes, ya por fajas de terreno ó *paseos*, ya por *andenes* ó *aceras*.

No basta cuanto se ha dicho para asegurar el tránsito. Hay que construir *muros de sostenimiento* de terraplenes ó *de contención* de desmontes, siempre que lo exijan la altura de aquéllos ó la naturaleza de éstos; hay que elevar construcciones especiales para salvar corrientes de agua, fuertes depresiones ú otras vías; en una palabra, se necesitan *obras de fábrica* ó *de arte*, como pro-

pone el Sr. Rebolledo que se llamen (1), obras que á veces revisiten excepcional importancia.

Por último, si no completamente indispensables, hay otras que se denominan *accesorias*, y que tienen por objeto dar seguridad ó comodidad á los transeuntes, facilitar los servicios de construcción y conservación ó el acceso á las propiedades limítrofes, contribuir al ornato en el interior ó proximidad de las poblaciones, etc.

Resulta de lo que antecede que en una carretera hay que considerar las siguientes clases de obras: 1.º, *de tierra ó de explanación*; 2.º, *de fábrica*; 3.º, *de afirmado*, y 4.º, *accesorias*. De todas ellas se tratará en esta sección.

CAPÍTULO I.

OBRAS DE EXPLANACIÓN.

I. — DESCRIPCIÓN.

Las obras de explanación no comprenden en realidad más que los desmontes y terraplenes; pero hay que dar á conocer las disposiciones admitidas para la caja del firme, los paseos ó andenes y las cunetas. Antes de entrar en materia, conviene decir algo acerca del ancho que se ha de dar á la plataforma.

Ancho de la explanación.—Debe estar en relación con las necesidades del tránsito, contando con que se puedan cruzar cómodamente los vehículos sin salirse de la parte central ó afirmada: si el cálculo se hace para el cruce de dos carruajes, contando con una batalla de dos metros y con que queden 0^m,50 de hueco entre ambos, resultará una latitud mínima de 4^m,50 para la faja del firme, que es la señalada para las carreteras de tercer orden del Estado en los formularios vigentes (2). Pero á aquella

(1) Rebolledo, *Tratado de Construcción general*, segunda edición: Madrid, 1889.

(2) Véanse los *Formularios para la redacción de proyectos de carreteras*, insertos al final de la obra (Apéndice I). En cuanto á la clasificación de las carreteras en tres órdenes, está basada en su mayor ó menor importancia, y sujeta á reglas fijas administrativas que se puntualizan en la ley, y cuyo examen no cabe dentro del programa de este libro.

magnitud hay que añadir el ancho de los paseos, cuestión que se discutirá muy pronto. La anchura total señalada en España para los tres órdenes de carreteras, medida entre las aristas interiores de las cunetas y las exteriores de terraplenes y muros, es respectivamente de 8, 7 y 6 metros; si bien se faculta á los Ingenieros para proponer aumentos ó disminuciones en casos especiales. En vías de extraordinario movimiento, como, por ejemplo, en la proximidad de grandes centros, sería imposible el tránsito con el ancho normal establecido para las carreteras de primer orden: todas las que parten de Madrid se han construído con dimensiones mucho mayores. Lo propio sucede en las calles frecuentadas, en las que á veces un ancho de más de 20 metros resulta insuficiente para el tránsito de carruajes y peatones, sobre todo en días determinados. Por el contrario, en pasos muy costosos puede y debe disminuirse la anchura hasta donde sea racionalmente factible. En caminos rurales ó de escasa circulación suele reducirse la parte afirmada hasta tres metros, principalmente en Francia é Inglaterra: en tal caso, al cruzarse dos vehículos, es indispensable que por lo menos uno de ellos ocupe parte del paseo.

Desmontes y terraplenes.—Sabido es que un perfil transversal del camino puede estar en *desmante*, *terraplén* ó *ladera*. Los desmontes reciben el nombre especial de *trincheras* cuando su altura ó cota es próximamente la misma de un lado y otro del eje. La altura, tanto de desmontes como de terraplenes, depende de las condiciones topográficas de la localidad y de las técnicas de la vía: en terreno quebrado podrá ésta ceñirse tanto más, cuanto pendientes más fuertes se admitan para las rasantes y radios más pequeños para las alineaciones circulares, es decir que, á igualdad de las demás circunstancias, las cotas rojas de desmontes y terraplenes aumentarán con la importancia del camino. De aquí que en una carretera, aun de primer orden, se conceptúen de consideración trincheras ó terraplenes largos de 5 ó 6 metros de altura, mientras que en ferrocarriles se llega y pasa á veces de 15 y 20.

TÚNELES Y TROMPAS.—Accidentalmente, y para evitar la ejecución de grandes trincheras, se recurre á la apertura de *galerías*, *subterráneos* ó *túneles*, como se ha efectuado en varias carreteras de las provincias de Logroño y Oviedo y quizá de alguna otra. No se

ve inconveniente grave en adoptar esta solución, que realiza en muchos casos economía de entidad, sobre todo si las galerías no son largas y pueden quedar iluminadas: en España, sin embargo, parece que se rehuye por los Ingenieros, mientras que en Italia se usa con bastante frecuencia. El ancho de los túneles puede reducirse á 4^m,50, y la altura en el eje suele variar entre 5 y 6 (1).

También se emplean á veces los desmontes en *trompa*, cuando la vía marcha por una ladera de mucha inclinación transversal y constituida por roca muy dura y resistente: esta última circunstancia es esencial, pues de no verificarse es posible que se produzca algún desprendimiento, siendo más fácil que ocurra el accidente al pasar los vehículos, por las vibraciones que ocasionan. En las provincias del Norte y Noroeste hay ejemplos de esta disposición, y algunas trompas están abiertas en roca caliza, presentando sus bóvedas pintorescos grupos de estalactitas, que no infunden la mayor confianza respecto á la compacidad de la masa. Por lo demás, el método no es moderno, pues ya se aplicó en tiempo de Trajano, en la calzada del bajo Danubio, cerca de Orsova.

TALUDES.—Los taludes de los desmontes en tierra se dejan bien refinados, á lo menos en su faja inferior, pues si presentasen bolsas podrían estancarse las aguas y producir desprendimientos; en los desmontes en roca no se hace á lo sumo más que desbastar groseramente la superficie. La inclinación de estos taludes depende, en primer término, de la cohesión del terreno; la práctica tiene ya tan sancionada la que conviene en cada caso, que puede prescindirse de la aplicación de toda fórmula. En desmontes en tierra floja se acostumbra aceptar el talud de 1 de base por 1 de altura; el de 1 por 2 ó por 3, en tierras duras y compactas; el de 1 por 4 ó 5, en las rocas flojas, y el de 1 por 10, en las duras. Estas relaciones son aplicables á las cotas corrientes de trincheras; para alturas excepcionales, sería preciso aumentarlas.

Se evita emplear en la formación de terraplenes las tierras excesivamente sueltas, y principalmente la arena fina y redonda, que es arrastrada por el viento. Con buenos materiales se tiene

(1) Cantalupi, *Strade*.

seguridad de obtener taludes estables con la inclinación de 3 de base por 2 de altura, que es la que casi siempre se admite para las tierras. En los pedraplenes se puede disminuir la base hasta hacerla igual á la altura.

Los taludes de los terraplenes no se refinan en toda su extensión, bastando efectuarlo en una zona, que no excede ordinariamente de un metro de anchura, contado desde la arista y en sentido de la línea de máxima pendiente. Como las aguas que corren por ellos abren surcos y arrastran á veces masas de tierra, hay que repararlos siempre después de los temporales. Para aminorar los daños conviene defenderlos, en especial los que tienen mucha altura: la mejor defensa, á la vez que la más económica, consiste en hacer plantaciones de vegetales de fácil arraigo; también pueden revestirse con tepes ó empedrados (1).

Caja.—Las dimensiones de la caja dependen naturalmente de las del firme. Á los mordientes ó costados de la sección transversal se les daba antes ligera inclinación ó talud; pero hoy se hacen siempre verticales, á causa de que se sostienen sin dificultad por su pequeña altura. El fondo del perfil de la caja es una curva equidistante en todos sus puntos de la que constituye la superficie superior del firme, cuando ésta es cóncava. En caso de ser convexa, como ocurre casi constantemente, el fondo de la caja es también convexo ú horizontal: conviene el primer sistema cuando los materiales de que se compone el firme son de formas geométricas, pues así todos resultan del mismo tamaño; pero en los afirmados de materiales irregulares es muy común emplear el fondo horizontal, con lo cual se logra proporcionar el espesor á la frecuentación, que es siempre mayor en el centro de la vía que en los costados. Algunos Ingenieros combaten el fondo plano, en la creencia de que es fácil que se encharque con las aguas de lluvia que penetren á través del firme, y proponen que se haga aquél convexo, disminuyendo la curvatura de su sección, si no se quiere espesor uniforme: la experiencia diaria demuestra que el temor es infundado, siempre que las soleras de las cunetas se

(1) No se hacen más que ligeras indicaciones sobre la defensa de taludes. Todos los pormenores pueden verse en la *Construcción general*, del Sr. Rebolledo.

establezcan de 0^m,12 á 0^m,15 por bajo de dicho fondo; las catas abiertas en firmes regularmente conservados, aunque correspondan á sitios bajos, hacen ver que en el interior de la caja no se encuentra nunca más que una ligera humedad que, lejos de ser perniciosa, es favorable para el afirmado.

Estas consideraciones no son aplicables á países muy húmedos, en los que no sólo produciría malos resultados el fondo plano, sino la misma caja. Esto sucede en Inglaterra, donde, siguiendo las prescripciones de Mac-Adam, suele colocarse el firme sobre la superficie de la explanación.

Paseos y andenes.—Ya se ha dicho que los *paseos* son las fajas de terreno que quedan entre el firme y las cunetas en los desmontes, ó entre el firme y las aristas superiores de los terraplenes. Se ha discutido mucho si son ó no convenientes. Sus defensores manifiestan que sirven para contener el firme, que se utilizan para el tránsito de peatones y á veces de vehículos, y que forman un excelente depósito para colocar en montones los acopios de piedra para conservación de los firmes ordinarios. Varias objeciones cabe presentar á estos argumentos. Es indudable que se necesita contener el firme para que no caigan sus materiales, no para resistir al empuje de aquél, asimilándolo á una bóveda, como ha habido quien ha supuesto; pero para contener el afirmado bastaría como máximo una faja de 0^m,50 en cada lado, que es inferior al mínimo admitido, como en seguida se verá. Los paseos no ofrecen grandes comodidades para el tránsito de peatones, que prefieren caminar por el firme, que presenta suelo más resistente en tiempos húmedos y menos polvo en las épocas de sequía: sólo cuando el tráfico de carruajes es muy activo, tienen que utilizar los paseos, si lo permiten los montones de acopios. En cuanto á los vehículos, antiguamente circulaban por los paseos, á los que se daban anchos enormes, llegando á medir 8 y 9 metros en los caminos reales franceses á fines del siglo XVII (1); pero en la actualidad, el Reglamento de policía de carreteras prohíbe que los carruajes ocupen los paseos, para evitar sin duda su pronta desagregación y los perjuicios que el polvo ocasionaría á los tran-

(1) Durand-Claye, *Routes*.

seuntes, al firme y á las propiedades inmediatas. La mayor ventaja de los paseos es la de poder depositar los acopios, teniéndolos siempre á mano para emplearlos en el sitio que sea necesario; sin embargo, aun bajo este aspecto, presentan el inconveniente de que no se puede evitar que las ruedas de los vehículos y los cascos de las caballerías desarreglen los montones y esparzan la piedra, ocasionando pérdida de material.

Aparte de estos razonamientos, los enemigos de los paseos exponen: 1.º, que la anchura que dan á la explanación hace aumentar considerablemente el volumen del movimiento de tierras y la longitud de las obras de fábrica; 2.º, que es preciso tenerlos siempre muy tersos para que las aguas escurran bien, lo que obliga con grandísima frecuencia á que los peones ocupen el tiempo en recorrerlos, cortar la hierba que nace en ellos, perfilarlos, etc.

Para evitar todos ó algunos de estos inconvenientes, se ha propuesto reducir los paseos á lo estrictamente necesario para contener el afirmado, estableciendo de trecho en trecho *apartaderos* en que se depositen los acopios de piedra para el firme; disposición que no parece muy aceptable, porque si los apartaderos están distantes, se dificultan y encarecen las faenas de conservación, y si próximos, subsisten los defectos que se trata de evitar, pues viene á equivaler á distribuir de otro modo el ancho normal de los paseos ordinarios. En Italia es muy frecuente separar por cada lado el firme de los paseos con una fila de guardarruedas. Otro sistema que está dando buenos resultados en Francia, según dice Durand-Claye, y que se usa mucho en Inglaterra, es colocar los paseos con una pequeña elevación (de 6 á 10 centímetros) sobre el firme, pues así constituyen verdaderos andenes, por los cuales no pueden circular los vehículos: se deja crecer la hierba, la cual no ofrece ningún obstáculo á las aguas del firme, que ya no corren por los paseos, y contribuye, por el contrario, á hacer más resistente el piso y más aprovechable para la gente de á pie; y en fin, en los andenes no experimentan mermas ó desperfectos los acopios, á causa del tránsito de vehículos y animales. Es claro que se pueden mejorar los andenes para el paso de peatones, cubriéndolos con cascajo ó gravilla.

Á los paseos ordinarios se les da inclinación de 4 á 5 por 100

hacia el exterior, esto es, hacia las cunetas en los desmontes y hacia los taludes en los terraplenes, para que corran las aguas que caigan sobre los mismos paseos y las que recojan del firme. Su perfil transversal es siempre rectilíneo. Los andenes se disponen también con la misma pendiente y en idéntico sentido; pero para evacuar las aguas del firme se hacen cortaduras de trecho en trecho, generalmente á distancias que varían entre 5 y 20 metros, cuyo fondo está al nivel del firme, é inclinadas hacia las cunetas ó los taludes de terraplén. Estas cortaduras se abren normal ú oblicuamente al eje, según se trate de tramos horizontales ó en pendiente. Algunas veces, cuando se emplean andenes, se suprimen las cunetas en los desmontes: en tal caso se inclinan aquéllos hacia los mordientes del firme, y las aguas corren, como en las calles, por regueros empedrados, dándoles salida por tajetas, cañños ó cortaduras que se sitúan en puntos bajos.

La anchura de los paseos de las carreteras del Estado es en España de 1^m,25, un metro y 0^m,75 respectivamente para las de primero, segundo y tercer orden (1); pero dejando facultad á los Ingenieros para proponer la distribución que crean más oportuna de los anchos de 2^m,50, 2 metros y 1^m,50 que corresponden en junto á ambos costados, y aun la supresión completa de uno ó de los dos paseos. Esto prueba que la Administración no prejuzga el asunto, y que los Ingenieros están autorizados para optar por el sistema que estimen más acertado, cuidando, por supuesto, de motivarlo. En Francia, ya se construyan paseos ó andenes, se les da mayor latitud que en España, pues suele variar entre 1^m,50 y 2^m,50 por cada lado; en Italia son más estrechos, diferenciándose poco de los nuestros.

Todo lo que antecede se refiere á caminos en campo raso. En las calles de las poblaciones los andenes, por regla general, se enlosan ó asfaltan, constituyendo las *aceras*, construídas con inclinación hacia los bordes del afirmado, por donde corren las aguas, que se reciben en *sumideros* situados en puntos bajos de rasantes. Á veces, en calles de primer orden, se disponen, entre las aceras y el firme, paseos con arbolado, como sucede en Ma-

(1) Véanse los *Formularios*.

drid, en las calles de Alcalá, Serrano, Génova y otras muchas.

Cunetas.—El principal objeto de las cunetas, como ya se ha indicado, es recoger las aguas que caen sobre la carretera, y en especial las que reciben de los terrenos inmediatos cuando la vía va en desmonte ó por el suelo natural. Esto explica que se limite su construcción, en cada lado del camino, á los trozos en que éste vaya á flor de tierra ó en desmonte; de suerte que en los perfiles en ladera sólo se establece cuneta en el lado correspondiente á la parte excavada. En los perfiles en terraplén se prescinde de esa obra, que aumentaría las explanaciones y la longitud de las obras de fábrica, sin otra ventaja que la de evitar que corran por los taludes las aguas que caen en la plataforma. Mucho más económico es reparar las escarpas cuando sea indispensable, sobre todo si se ha tenido cuidado de defenderlas con plantaciones ó revestimientos.

Antiguamente las cunetas eran simples depósitos sin salida ni comunicación: el agua desaparecía con extremada lentitud, por absorción y evaporación, dando lugar á emanaciones infecciosas y manteniendo el subsuelo del firme en un estado de humedad constante. Hoy son las cunetas verdaderos canales de evacuación, que llevan las aguas hasta los arroyos ó depresiones naturales por donde puedan correr.

La sección transversal de las cunetas es siempre trapecial; el costado exterior es la misma línea de talud del desmonte; al interior se le da igual ó algo mayor inclinación respecto á la horizontal; el fondo mide de 0^m,30 á 0^m,50, y la altura varía entre los propios límites, con lo que se logra que la solera quede bastante por debajo de la caja del firme.

Por regla general, la pendiente de las cunetas es la misma que la de la carretera. Sin embargo, en los tramos horizontales ó de tan escaso desnivel que las aguas no pudieran discurrir fácilmente, se disponen las cunetas con inclinación mínima de 2 por 1.000, abriéndolas al efecto con profundidades variables.

Por el contrario, cuando la vía tiene rasantes muy inclinadas y el terreno escasa consistencia, si no se tomase ninguna precaución, las aguas marcharían con tal violencia que las cunetas experimentarían daños considerables y pudieran formarse aterra-

mientos que detuvieran las corrientes, ocasionando quizás desperfectos de entidad. Casi siempre basta para remediar estos inconvenientes un empedrado grosero de cuñas ó morrillo en el fondo de la zanja; pero si no fuese suficiente, se establecen las cunetas en tramos de pendiente á propósito, separados por muretes de fábrica, que se llaman *rastrillos*, ó por tablas sujetas con estacas, y consolidando el pie de las caídas con ligeros zampeados y macizos de piedra suelta.

Se admite que las paredes de un canal comienzan á desagregarse cuando la velocidad del agua, medida en las mismas, llega á los límites que se indican á continuación (1):

Velocidades por 1". — Metros.	Naturaleza del terreno.
0,07	Tierra vegetal.
0,15	Arcilla compacta.
0,30	Arena.
0,60	Grava.
1,20	Piedra partida.
1,50	Roca floja.
3,00	Roca dura.

Para proceder, pues, con todo rigor, sería necesario medir la superficie total de tierras que vierten aguas á la cuneta; calcular el volumen de líquido, teniendo en cuenta la altura de las lluvias mayores que se hayan conocido en el país; determinar el tiempo que tardarían las aguas en llegar á la cuneta y la cantidad de ellas que desaparecería por la permeabilidad del terreno; y con estos elementos y las dimensiones del canal, deducir la velocidad, que haría conocer si era ó no indispensable recurrir á trabajos de consolidación. Resolver cuestiones tan complejas para una simple cuneta sería ridículo: por lo común se construyen con las dimensiones ordinarias que la experiencia haya aconsejado. Úni-

(1) Durand-Claye, *Routes*.

camente cuando se presume que ha de reunirse caudal excesivo, podrá aumentarse la sección, y mejor aún, distraer las aguas, recogiénolas en *cunetas de coronación*, como se verá al tratar de las obras accesorias, ó apartándolas por medio de desagües que las conduzcan fuera de la vía.

Las cunetas no ofrecen peligro para los vehículos, pues que éstos no deben salir de la faja afirmada; mas aunque falten los conductores al reglamento de policía, los acopios colocados en los paseos y el arbolado que existe en muchas carreteras impiden que los carruajes lleguen á las cunetas, y en todo caso no es temible ningún accidente grave, en vista de la pequeña profundidad de aquéllas.

Lo que antecede basta para formarse idea del perfil transversal de una vía ordinaria. La lámina 1.^a presenta varios tipos: las figuras 1.^a, 2.^a y 3.^a, indican respectivamente los perfiles normales adoptados en España para las carreteras de los tres órdenes, en los que se ha acotado la inclinación usual de los taludes según la naturaleza de los terrenos; las figuras 4.^a y 5.^a corresponden á carreteras nacionales francesas, con andenes elevados y regueros de adoquines ó cuñas; la 6.^a á un camino de la Italia septentrional, con filas de guardarruedas entre el firme y los paseos; las 7.^a, 8.^a y 9.^a á calles y paseos de Madrid; y las 10.^a, 11.^a y 12.^a á calles de Barcelona, observándose en la última, líneas de pórticos en los dos costados.

II.—EJECUCIÓN DE LAS OBRAS DE EXPLANACIÓN.

Replanteo.—Antes de dar principio á la ejecución de las obras es preciso efectuar el *replanteo*, ó señalamiento en el terreno del eje del camino y de los anchos que han de tener sus diversas partes. Las operaciones se simplifican mucho cuando no han desaparecido las estacas ó piquetes que se clavan al practicar los estudios; pero, por regla general, se encuentran muy pocos, lo que no es de extrañar si se considera que suelen transcurrir años desde que se redacta un proyecto hasta que se realizan las obras. Sea como quiera, teniendo á la vista el plano aprobado, la

determinación en el suelo de las alineaciones rectas y curvas es problema de Topografía, que se supone perfectamente conocido, no necesitando decir sobre el particular sino que la línea debe quedar bien marcada con estacas, que se colocarán á distancias mayores ó menores, según los casos. Deben quedar señalados con hitos ó mojones los vértices del trazado, la entrada y salida de curvas y rasantes, los puntos á que correspondan perfiles transversales ú obras de fábrica, y en suma todos aquellos que ofrezcan alguna circunstancia especial. Las señales fijadas en el terreno, se numerarán correlativamente ó se designarán por sus distancias al origen de la traza.

En cuanto al perfil longitudinal, basta de ordinario dejar establecidos los puntos de cambio de rasante: al efecto, si corresponden á desmontes, se coloca una loseta al nivel que deben quedar; y si á terraplenes, un montón de tierra bien apisonada, y mejor un dado de piedra ó ladrillo, cuya coronación esté exactamente á la altura requerida. Sin embargo, en la práctica es frecuente no operar al principio con tanto esmero, limitándose á formar un estado en que se expresen las cotas rojas de los puntos marcados del eje, dejando la fijación definitiva para cuando estén desbastadas las explanaciones, y hasta entonces no se replantean tampoco las secciones transversales.

Rarísima vez ocurre que haya coincidencia perfecta entre la traza marcada y la que se proyectó; así es que se hace necesario redactar una acta en que se especifiquen las variaciones introducidas, y levantar la planta y el perfil longitudinal de la línea replanteada, con los mismos pormenores que los dibujos análogos del proyecto. Á estos nuevos planos, una vez aprobados por la Superioridad, si se trata de carreteras de servicio público, hay que atenerse estrictamente en lo sucesivo, ya se ejecuten las obras por administración ó por contrata.

Desmontes y terraplenes.—Conocido por el curso de Construcción general cuanto se refiere á obras de tierra, sólo se harán aquí ligerísimas observaciones.

DESMONTES.—Por lo común, los desmontes no se acometen desde luego en todo su ancho, sino se corta el terreno con el talud absolutamente indispensable para que se sostenga, y en la

extensión necesaria para que se llegue á la altura de la rasante con la latitud que corresponda á la plataforma; se abren las cunetas en los costados, y luego se van recortando los taludes, pero sin empeñarse en que queden refinados los de tierra.

Los productos de los desmontes pueden aprovecharse para los terraplenes inmediatos; utilizarse en otras obras, como afirmado, mamposterías, etc., ó depositarse en *caballeros*, en la proximidad de las aristas superiores de las excavaciones. El destino que se les dé depende del estudio que se haga con la mira de realizar la mayor economía posible; síguense al efecto los procedimientos que se explicarán al tratar de la redacción de proyectos, y, por ahora, basta admitir que se ha practicado dicha distribución.

En caso de que hayan de formarse caballeros, se extraerá el volumen correspondiente de la parte superior del desmonte, á fin de evitar transportes verticales inútiles; las tierras se depositarán dejando una herma ó banqueta, por lo menos de un metro, entre ellas y la arista superior del talud definitivo, y con el orden conveniente para que los caballeros sirvan de retención á las aguas que corran por la ladera, evitando así en muchos casos la necesidad de abrir cunetas de coronación. Excavado el volumen que ha de ir á caballeros, se ataca el resto del desmonte.

Los productos aprovechables para otras obras se *apilan* en puntos á propósito, donde se conservan hasta el momento de emplearlos.

Las tierras que hayan de transportarse á terraplenes se cargan en espuestas ó cestos, carretillas, carros ó volquetes, ó vagonetas que corran por vías provisionales de hierro, según resulte más barato, en vista de la distancia que tengan que recorrer y de la cuantía de los volúmenes. Claro es que, para hacer posible el tránsito de operarios y vehículos, hay que comenzar el ataque por las líneas de paso de desmontes á terraplenes.

Durante la ejecución de las excavaciones es preciso ir estableciendo puntos de rasante, que sirvan de guía é impidan erradas maniobras; se fijan con niveletas, sin que se requiera exactitud rigurosa, puesto que más tarde ha de hacerse la rectificación definitiva. Otro tanto debe decirse de las líneas que marquen los anchos de las diversas partes del camino, de las que sólo se señalan algunos puntos fijos.

Mientras se efectúan los desmontes hay que tener bien expeditas las cunetas y dirigir las aguas á sitios en que no perjudiquen á la marcha de los trabajos.

TERRAPLENES.—Los terraplenes se construyen con productos de las excavaciones ó con tierras sacadas de *zanjas de préstamo*, abiertas al pie de las mismas.

Los operarios ó vehículos, que en el primer caso conducen los materiales, los van descargando en los puntos que convenga, mientras otros peones se ocupan en desmenuzar los terrones y en igualar las tierras. Si los terraplenes se construyen con piedras ó con cascote ó escombros, es decir, si se trata de *pedraplenes*, deben rypiarse con tierra ó detritos los huecos que dejan entre sí los materiales, y reservar los más menudos para las coronaciones y taludes: todo ello tiene por fin disminuir los considerables asientos que experimentan. Por la misma razón hay que descuajar los vegetales de la zona que ha de ocupar el terraplén.

Cuando haya que abrir *sacatierras* ó *zanjas de préstamo*, es indispensable cuidar de que entre ellas y el pie de los terraplenes haya por lo menos una distancia de un metro; de que tengan poca profundidad, y de que su solera sea plana y con la inclinación necesaria para que el agua escurra con facilidad por la depresión natural que salva el terraplén. Todas estas precauciones se encaminan á que la humedad de las zanjás no perjudique á la carretera; á que no se encharquen aquéllas por mucho tiempo, produciendo emanaciones perjudiciales para la salud, y á disminuir lo posible la altura á que han de elevarse los productos. Es claro que cuando se abren *sacatierras* hay que indemnizar á los propietarios por la ocupación temporal de sus fincas, y que esa indemnización será tanto mayor cuanto más extensión superficial se utilice; pero como en la inmensa mayoría de los casos el gasto por este concepto es de corta entidad, no hay inconveniente en hacer las zanjás de muy poca elevación, á menos que los terrenos sean de gran valor, circunstancia que rara vez tiene influencia, porque entonces es lo común que el camino se desarrolle con cotas muy pequeñas.

Parece oportuno hacer algunas indicaciones sobre los terraple-

nes en general. Cuando hayan de establecerse en laderas de inclinación transversal acentuada, se suelen disponer en escalones para que liguen mejor con el suelo y aminorar las probabilidades de deslizamientos ó filtraciones: muchas veces no basta esta precaución, y es necesario sostener los terraplenes con muros, como se verá al hablar de las obras de fábrica.

Los terraplenes experimentan siempre asientos mayores ó menores, que hacen variar las rasantes y que imposibilitan tender el firme hasta que se han efectuado por completo. Los asientos desaparecerían ó revestirían escasísima importancia, si al construir los terraplenes se sometieran las tierras á una compresión energética, y á este efecto podrían hacerse por capas ó tongadas de 0^m,15 á 0^m,30 de espesor, bien regadas y apisonadas. Este procedimiento, que teóricamente no puede ser más sencillo, haría subir los gastos de explanación á cantidades considerables: así es que se reserva para los terraplenes sostenidos por muros y para los de avenidas de obras de fábrica, en la proximidad de éstas, y en ambos casos se van construyendo, á la par que se elevan las fábricas. En los terraplenes corrientes no se usa más consolidación que la producida por el paso de los animales de carga y vehículos de transporte de materiales: de este modo el asiento es muy grande, y se acostumbra construirlos con cotas algo mayores que las definitivas para compensar aquel efecto, y dejar pasar un invierno antes de practicar la rectificación de rasantes y de proceder á construir el firme. En cuanto á las creces que se dan á los terraplenes con el fin indicado y con el de obtener los taludes convenientes, sólo la práctica puede servir de norma para fijarlas en cada caso; por lo común, se aumentan las cotas rojas en igual proporción para una misma clase de materiales.

Los productos de una excavación cubican siempre más que el hueco que deja aquélla, lo que se explica bien por la desagregación que experimentan y el aumento consiguiente de los huecos entre sus partículas. Cierto es que este *entumecimiento ó hinchazón* se compensa en parte por la consolidación natural ó artificial de los terraplenes; pero nunca desaparece por completo, y resulta que con las tierras procedentes de una excavación de volumen determinado, se ejecuta mayor cubo de terraplén. Esta observación

hay que tenerla en cuenta durante las obras y asimismo al redactar el proyecto, según los preceptos oficiales.

Rectificación definitiva.—Terminado el desbaste de las explanaciones y transcurrido tiempo suficiente después de ejecutados los terraplenes, se hace la rectificación definitiva de rasantes, fijando de trecho en trecho, y á la altura que corresponda exactamente á aquéllas, losetas en el eje ó en los costados, cuidando de marcar con señales particulares los puntos en que cambie la inclinación: si hacen falta después otros intermedios, se pueden señalar sencillamente con niveletas.

Rectificadas con esmero las rasantes, cortando ó recreciendo las explanaciones en los trozos que sea necesario, se tiene ya la plataforma con la inclinación que debe afectar en todos sus puntos. Falta entonces señalar con esmero el ancho y las líneas de cunetas y paseos ó andenes, lo que se efectúa á distancias variables, según los casos, pero que no conviene nunca que pasen de 100 metros; y con estos elementos puede procederse ya á ejecutar las obras necesarias para que cunetas y fajas laterales queden en las alineaciones y con las pendientes y anchuras que les correspondan. Sin embargo, el recrecimiento de paseos ó andenes se hace de ordinario al mismo tiempo que se abre la caja, y con productos de ella: así ni es necesario hacer la apertura de la misma en todo su espesor, sobrando tierras que habrían de transportarse, ni es preciso traerlas de fuera para formar los paseos ó andenes, como sucedería si se adoptase para fondo de la caja la superficie de la plataforma ya preparada.

Refinos.—El refino de los taludes de terraplenes y de los desmontes abiertos en tierra no se verifica hasta muy poco antes de que terminen por completo las obras de la carretera, pues de lo contrario habría que repetir la operación muchas veces. Lo propio puede aplicarse al enarenamiento de los andenes, cuando se resuelva cubrirlos para mejorar las condiciones del piso.

Para los pormenores de ejecución de los trabajos reseñados en este artículo, se puede consultar la varias veces citada obra del profesor de la Escuela, Sr. Rebolledo.

CAPÍTULO II.

-OBRAS DE FÁBRICA Ó DE ARTE.

Como ya se indicó al clasificar las obras que comprende una carretera, entre las de fábrica hay que estudiar: 1.º, los muros de *sostenimiento* de terraplenes y de *contención* de desmontes; 2.º, las que sirven para salvar corrientes de agua ó grandes depresiones del terreno; y 3.º, las destinadas á cruzar otras carreteras, ferrocarriles ó canales. Respecto de todas ellas se harán ligerísimas indicaciones, puesto que el cálculo de magnitudes y los métodos de ejecución material rebasan los límites de esta obra, y reciben los desarrollos convenientes en diversas asignaturas.

I.—MUROS.

Muros de sostenimiento.—Es indispensable construirlos cuando, apoyándose la traza en ladera de fuerte pendiente transversal, forman los perfiles del terreno y del talud del terraplén líneas divergentes, ó que se cortan en ángulo tan agudo que no quede la plataforma con la debida estabilidad, siendo de temer que las tierras resbalen. En otras circunstancias también suele convenir el establecimiento de muros; bastará poner dos ejemplos: 1.º, cuando la traza marcha por una rambla ó por el cauce ó proximidad de cualquier corriente, que obligue á defender los taludés para que las aguas no los ataquen: en tal caso, la defensa puede realizarse con muros, aunque cabe asimismo emplear macizos de escollera ú otros medios; 2.º, cuando la línea atraviesa, con altura algo considerable de rasante, terrenos de subido precio, pues se logra de ese modo disminuir la zona ocupada por el camino: estas particularidades rara vez se presentan, sin embargo, en la práctica, porque de ordinario las tierras de mayor valor se encuentran en vegas ó llanadas en las cuales las cotas de terraplenes son muy pequeñas.

FORMAS.—Los muros de sostenimiento se elevan á menudo hasta la altura de la rasante (fig. 13.^a); mas en ocasiones se construyen

únicamente al pie del talud (fig. 14.^o), denominándose entonces *muretes*. Ejecútanse unos y otros de ladrillo ó de fábrica de mampostería en seco ó con mezcla. Si se prescinde á veces de enlazar los mampuestos con mortero, es simplemente por razón de economía, aunque ésta no es tan considerable como á primera vista pudiera creerse, pues, conforme se indicará en seguida, los muros de piedras secas requieren gruesos mayores que los de mampostería ordinaria.

Las formas que se dan á los muros son bastante variadas. Ordinariamente la sección transversal es un trapecio, cuyo lado interno es vertical, é inclinado el externo con un talud de $\frac{1}{3}$ á $\frac{1}{10}$. Sin embargo, á fin de aumentar la base, suele disponerse la pared interior en escalones. Los requisitos principales á que ha de satisfacer la obra, son resistir al empuje de las tierras del terraplén, y producir asiento uniforme en el suelo: ambas se tienen en cuenta en el cálculo y conducen, como es natural, á ensanchar la base á medida que la cimentación se establece en terreno más compresible. Á veces se da mayor estabilidad á los muros por medio de contrafuertes, exteriores en algunos casos, pero casi siempre interiores. Como el empuje de las tierras tiende á separar del muro á los contrafuertes interiores, se aumenta su resistencia enlazándolos por bóvedas de descarga, que construídas á diferentes alturas y llenas de tierra, no sólo arriostan los contrafuertes, sino que alejan de la arista exterior el centro de gravedad del muro. Cuando la ladera es muy inclinada, la cimentación de los muros es insegura y costosa: debe preferirse en tal caso sustituir los muros por apoyos de fábrica perpendiculares al eje, sobre los que se construyen bóvedas, que unas veces atravesarán todo el ancho de la explanación, deteniéndose otras al encontrar la superficie del suelo; sobre las bóvedas va el terraplén, como se ve en la figura 15.^o Estas disposiciones se aplican, sobre todo, á terraplenes de bastante altura, y, por tanto, no es común admitirlas en los de carreteras. Lo mismo ocurre con el perfil curvo, adoptado en ocasiones para sostener terraplenes elevados.

En los muros construídos con fábrica de ladrillo ó de mampostería es indispensable dejar abiertas canales, que se llaman *barbacanas* ó *cantimploras*, con objeto de dar salida á las aguas que se

acumulan por la parte de las tierras. Las barbacanas atraviesan el muro en todo su espesor, y tienen de 0^m,05 á 0^m,10 de ancho, y 0^m,30 á un metro de altura.

También hay que elegir cuidadosamente las tierras que hayan de cargar los muros: deben proibirse las arcillosas y las que aumenten considerablemente de volumen por la humedad ú otras causas, que producirían la ruina de las fábricas. Si no existen buenas tierras en la proximidad, es mejor construir pedraplenes, y siempre que se presenten filtraciones sanear el terreno.

DIMENSIONES.—El espesor medio de los muros se calcula gráfica ó analíticamente por los procedimientos que se estudian en Mecánica aplicada. Dentro de las condiciones corrientes puede admitirse la regla práctica de los constructores alemanes, que se reduce á dar á los muros de sostenimiento de mampostería con mezcla el grueso medio de $\frac{1}{5}$ á $\frac{1}{4}$, ó próximamente los $\frac{2}{7}$ de la altura, y el talud de $\frac{1}{6}$; pero con la prescripción de que el espesor en la cabeza no baje de 0^m,70 á un metro.

En cuanto á los muros de mampostería en seco, oscila el espesor medio entre $\frac{2}{5}$ y $\frac{1}{2}$ de la altura, y el talud no baja nunca de $\frac{1}{6}$. La experiencia demuestra que, á menos de adoptar precauciones especiales, no conviene usar aquella fábrica para alturas que excedan de 9 metros; en cuanto se rebasa este límite los muros se hinchan ó alabean, indicios seguros de próxima ruina (1).

PRETILES.—Los muros que alcanzan la altura de la rasante se coronan con *pretiles* de fábrica de ladrillo, mampostería ó sillería, que tienen, por lo común, de 0^m,70 á un metro de altura, y 0^m,35 á 0^m,50 de ancho. Los de ladrillo y mampostería llevan una albardilla de sillería desbastada ó de losas: se refuerzan con sillares los paramentos de entrada y salida para aumentar su resistencia á los choques, y conviene darles en toda la extensión de sus caras interiores un buen enlucido hidráulico. Es indispensable dejar aberturas en su parte inferior, á fin de facilitar la salida de las aguas y de los detritos que se recojan con la rastra ó con la escoba: á veces se hacen dichas aberturas muy grandes para

(1) Cantalupi, *Strade*.

conseguir aligerar el murete y economizar fábrica, disposición que se emplea con alguna frecuencia en Italia.

Es práctica bastante admitida reemplazar los pretils continuos con prismas aislados de piedra, ladrillo ó mampostería, á los cuales suele darse tres metros de longitud, dejando entre dos consecutivos un intervalo de dos metros, en el que se colocan uno ó más guardarruedas tronco-cónicos.

Muros de contención.—Cuando son desmoronadizas las tierras contiguas á los desmontes y no bastan para retenerlas empedrados ú otros revestimientos sencillos, hay que recurrir á la construcción de muros, que pueden ocupar la altura íntegra del talud ó proteger tan sólo su pie. Casi todo lo dicho respecto á fábricas y formas de los muros de sostenimiento es aplicable á los de contención, debiendo advertir, no obstante, que en estos últimos es más frecuente el empleo de perfiles curvos, en especial en Inglaterra. La figura 16.^a representa un tipo de muro sencillo; en la 17.^a se ven en proyección contrafuertes interiores, y en la 18.^a se advierten retallos por el costado de las tierras, que producen efecto análogo al de los escalones interiores en los muros rectilíneos.

El espesor de estas construcciones varía entre límites muy extensos, según las circunstancias: su objeto es, como se ha dicho, oponer suficiente resistencia al corrimiento de las tierras, y requieren estudio detenido para poder someter al cálculo los elementos necesarios. Cuestión compleja es ésta, cuyo examen corresponde á la Mecánica aplicada.

II.—OBRAS PARA SALVAR CORRIENTES DE AGUA Ó FUERTES DEPRESIONES.

Tan grande es la importancia de los puentes y viaductos, que su estudio abarca casi en totalidad una de las principales asignaturas que constituyen la enseñanza en la Escuela de Ingenieros de Caminos. No se tratará aquí de aquellas construcciones, sino de dar ligera idea de los sistemas adoptados para el establecimiento de las obras pequeñas, que de ordinario sólo tienen que dar paso á exiguos caudales de agua.

Pueden dividirse todas las obras á que se refiere este artículo

en tres grupos, que se distinguen entre sí por las posiciones relativas del nivel de la superficie de la corriente y de la rasante (1). Son los siguientes: 1.º, obras que dan paso á las aguas por encima del camino; 2.º, obras que desaguan al nivel de la rasante; y 3.º, obras que permiten el paso por debajo á la corriente.

Primer grupo.—Las obras dispuestas de modo que el agua pase por encima de la carretera se denominan *badenes*. Se componen de dos bóvedas invertidas, *ab*, *a'b'* (fig. 19.^{na}), á la entrada y salida, unidas por varias *cadena*s ó *cintas* (*a*, *a'*), (*d*, *d'*), (*c*, *c'*), (*b*, *b'*), en sentido transversal, de las cuales son indispensables las dos extremas, pudiendo intercalarse las que requiera la longitud de la obra: á veces se establece también una cinta *mm* en dirección del eje del camino, sobre todo cuando éste tenga considerable anchura. Fórmanse de este modo unas cuadrículas que se cubren con empedrado de adoquines, cuñas ó morrillo, hecho con esmero y bien comprimido, siguiendo al efecto las reglas que en lugar oportuno se expondrán.

El badén debe enrasar, por la parte de agua-arriba, con el fondo del cauce. Si la pendiente de éste determina agua-abajo un desnivel más ó menos pronunciado entre su fondo y el badén, se pueden dirigir las aguas, á lo largo del talud del terraplén, por un cunetón empedrado, ó por un muro de caída provisto de aletas, cuya coronación formará el rastrillo de salida de la corriente. Estas dos disposiciones se dibujan en las figuras 20.^{na} y 21.^{na} Los badenes son molestos para la circulación, sobre todo en época de lluvias; así es que su empleo se limita cada vez más en las vías de bastante tráfico, como debieran ser todas las construídas por el Estado. Antiguamente se prodigaban en extremo; pero han desaparecido en su inmensa mayoría, efectuando desviaciones de cauces que han permitido suprimir las obras ó reemplazarlas con tajeas ó alcantarillas: los romanos, contra la creencia vulgar de que multiplicaban los puentes monumentales, hacían uso de badenes en multitud de casos (2). Á pesar de los inconvenientes que aqué-

(1) Esta clasificación es análoga á la adoptada por el Inspector general del Cuerpo D. Mauricio Garrán, en su obra titulada *Tratado de la formación de los proyectos de Carreteras*: Madrid, 1862.

(2) Véase el Apéndice II, inserto al final de la obra.

llos presentan, la economía que realizan en los gastos de instalación los hace admisibles en caminos, como muchos provinciales, vecinales y de servicio particular, en que la frecuentación sea de poca entidad, y en que, ante todo, deba atenderse á reducir á un mínimo la cantidad invertida en la construcción. En estos casos pueden establecerse en uno de los costados pasos para peatones, formados con piedras bastante próximas para salvar con comodidad los huecos, por los que continúan corriendo las aguas.

Hay otros badenes mucho más perjudiciales que los que se acaban de describir, los que se solían colocar en las pendientes largas y fuertes con objeto de evacuar por los costados las aguas que corrían á lo largo del camino. Redúcense á dos fajas empedradas, oblicuas con relación al eje (fig. 22.^a), que quiebran la inclinación de la rasante con una pequeña elevación que obliga á las aguas á separarse y á salir fuera de la vía. Los paralelogramos que determinan las zonas empedradas están limitados por cintas de adoquines. Estos badenes no tienen hoy razón de ser, tanto por las disposiciones que se adoptan para el perfil transversal y las cunetas, como por no admitirse las pendientes exageradas que eran comunes en las carreteras antiguas.

Segundo grupo.—Pertencen á él los impropriamente llamados *sifones*, que reciben su principal aplicación en los terrenos de regadío, en los cuales no conviene introducir modificaciones en la dirección y altura de las corrientes, máxime cuando se trate de acequias de riego, en las que las aguas pueden considerarse como permanentes.

Los sifones están formados por dos pozos, *ab* y *cd* (fig. 23.^a), en comunicación con la parte *bd*, á la que se dan las dimensiones que correspondan. La línea *mn* representa el perfil primitivo del cauce, y como se ve, la obra no altera las circunstancias de la corriente, siempre que las coronaciones de los pozos se establezcan á la misma altura de los puntos, *a* y *c*, del cauce. Éste se protege, á veces, á la entrada y salida del sifón, por medio de cunetones empedrados con morrillo. Las obras reseñadas presentan la ventaja de reducir á un mínimo la zona de terreno que se ocupa; pero no hay que desconocer el inconveniente de mantener una humedad constante, que es perjudicial para la buena conserva-

ción y que obliga á limpias frecuentes que requieren la achicadura del tubo inferior.

Se han construído sifones con cañería de hierro plegada al perfil transversal del camino, solución ventajosa cuando la carga es grande y pequeño el caudal de agua. También en este caso cabe tender el tubo, sostenido por dos viguetas, sobre la plataforma de la carretera, siempre que quede una altura mínima de cinco metros para el paso de vehículos.

Los sifones pueden emplearse asimismo para salvar un cauce que vaya por encima de la rasante, pero que no deje suficiente altura para construir un puente-acueducto. Se diferencian, en tal caso, de los anteriores en que los pozos llegan al nivel del cauce y rebasan, por tanto, la rasante, como se ve en la figura 24.^a, y en que hay necesidad de hacer muretes de ladrillo ó mampostería *aqp*, *dvs*, por encima de los taludes *pq* y *rs* del desmonte. Si alguno de los dos triángulos, el *aqp* por ejemplo, fuere demasiado grande, sería económico aligerar el muro con arcos, según se indica en la propia figura.

Tercer grupo.—CLASIFICACIÓN.—Se subdividirán las obras que dan paso á las corrientes por bajo de la rasante en *caños*, *tajeas*, *alcantarillas*, *pontones* y *puentes*.

Se llamaban *caños* hace algún tiempo las obras de sección cuadrada ó rectangular, de luz inferior á 0^m,75: hoy quedan comprendidas entre las tajeas; y aunque no esté consagrada oficialmente la denominación, se reservará en lo que sigue la de caños para las obras de perfil circular, sea cual fuere su vano. Si la sección no afecta dicha forma, se llamarán *tajeas* á las obras en que no pase de un metro la luz; *alcantarillas* á las en que ésta exceda de un metro y no de tres; *pontones* á las que tengan claros superiores á tres metros é inferiores á ocho, y *puentes* á todas las demás.

CAÑOS.—De ordinario son muy económicos y suelen presentar utilidad para el cruce de corrientes de escaso caudal, aunque también cabe aumentar el desagüe, disponiendo varias filas horizontales sobrepuestas, como indica la figura 25.^a Los caños han de establecerse en suelo muy poco compresible, para lo cual se abre una caja que se llena después de arena limpia y sílicea, colocada por capas delgadas que se riegan y apisonan: sobre este cimiento

van los tubos, rodeados asimismo de arena, en un espesor de 3 á 4 centímetros, y luego se cubren ya con el terraplén en toda su extensión, exceptuando las bocas. Éstas se defienden de la acción de las aguas revistiendo los taludes, hasta la altura que convenga, con empedrados ó muretes ligeros de fábrica. Procede igualmente cubrir con tepes ó morrillo el fondo del cauce en las inmediaciones de los frentes del caño, á fin de defender los extremos de la capa de cimentación.

Los materiales más usados para construir los tubos son barro, hierro colado, mortero de cemento y ladrillo.

Los caños de barro deben estar vidriados interiormente para asegurar su impermeabilidad: son á propósito para diámetros de 0^m,30 á 0^m,40, aunque también se hacen mayores. Resultan económicos si se fabrican en la proximidad de la obra; pero, como todos los materiales baratos, inadmisibles en el momento que se han de transportar de localidades lejanas: inmejorables son los tubos ingleses, mas por la razón expuesta no estará justificado emplearlos en España sino en casos excepcionales. Por lo demás, los caños de barro son frágiles y resisten poco tiempo á las trepidaciones que el tránsito produce en los caminos.

Los tubos de hierro colado no tienen aquellos inconvenientes, á lo menos en tan grande escala; pero ofrecen, en cambio, el de su elevado coste, que restringe mucho sus aplicaciones. Se han ensayado también los de madera, que se destruyen pronto á causa de las alternativas de sequedad y humedad á que se hallan expuestos, y que sólo deben aplicarse á obras provisionales.

Los tubos de mortero de cemento se elaboran en las fábricas de formas muy variadas; en la figura 26.^a se representan dos tipos con las acotaciones correspondientes; pero cuando aquel material ofrece verdaderas ventajas económicas, es si los tubos se construyen al pie de obra. En este caso, se empieza por abrir donde ha de situarse el caño una caja cilíndrica, *abc* (fig. 27.^a), de sección semicircular, sobre la cual se aplica una capa de buen mortero de cemento, de espesor proporcionado al diámetro del tubo que se quiera obtener, quedando así constituida la mitad inferior de éste. Á la cavidad preparada, se adapta un patrón ó forma cilíndrica, *mn*, de madera, cuyo diámetro es igual al calibre del

tubo, y que se cubre de una capa de argamasa idéntica á la inferior: cuando haya fraguado el cemento, se corre la forma y se repiten las operaciones hasta terminar el caño en toda su longitud. La figura 28.^a representa la disposición general de un caño de mortero, de 30 centímetros de diámetro y 8 de espesor.

Los tubos de diámetro algo considerable se construyen de hormigón hidráulico, compuesto de gravilla y mortero de cemento; pero cuando llegan á calibres de un metro ó 1^m,50, es ventajoso emplear ladrillos tomados con mezcla, bastando, por lo común, darles el espesor de 14 centímetros. La ejecución se realiza de manera completamente análoga á la explicada para los caños de mortero, debiendo advertir que en los de ladrillo, así como en todos los que tienen más de 0^m,40 ó 0^m,50 de diámetro, es muy conveniente hacer que no descansen inmediatamente en el suelo, sino por intermedio de un lecho de hormigón: también es recomendable el precepto de proteger los tubos de mortero, hormigón y ladrillo, en su parte superior, con un terraplén muy bien apisonado ó con un revestimiento de piedras colocadas á mano: la figura 29.^a da idea de esta última disposición.

Una de las condiciones indispensables para que los tubos surtan buen efecto es que no sean de gran longitud, pues es preciso que, como todas las obras de fábrica, se puedan limpiar fácilmente. En los caños de ladrillo es posible dejar registros, que permitan inspeccionarlos con comodidad relativa; pero siempre será preciso hacer calas en la plataforma de la vía para descubrirlos.

TAJEAS.—Es muy común construirlas de sección rectangular, cubriéndolas con losas llamadas *de tapa*, que sólo se labran en los frentes; mas cuando no se tiene material adecuado para ese objeto, se dispone una bóveda de ladrillo, rajuela, mampostería concertada ó sillarejo, cuyo intradós presenta ordinariamente en perfil la forma de arco de medio punto ó escarzano.

Las tajeas ocupan á veces toda la altura del terraplén, según aparece en las figuras 34.^a, 35.^a y 36.^a Consíguese así reducir su longitud todo lo posible; pero en cambio se aumenta el espesor de los estribos y la importancia de los muros que sostienen el terraplén: además, si la cota es algo grande, resulta la obra desproporcionada y de aspecto poco agradable.

Puede, por el contrario, limitarse la altura á la estrictamente necesaria para el desagüe, obteniendo una sección mínima, á cambio de hacer llegar al máximo la longitud de la obra (figura 37.^a) Por regla general, la solución más conveniente estará comprendida entre las dos extremas: sin embargo, en las carreteras, como los terraplenes no suelen ser muy elevados, es bastante frecuente hacer llegar las obras de fábrica hasta la rasante, al paso que en los ferrocarriles se impone muchas veces la reducción de altura. Las tajeas de poca luz deben tener, si son largas, el vano vertical necesario para que las pueda recorrer un muchacho, pues de otro modo no sería fácil limpiarlas y conservarlas expeditas para el paso de la corriente.

Á fin de sostener el terraplén en las partes adyacentes á los frentes de la obra de fábrica, es preciso construir muros, que reciben nombres distintos, según su dirección. Las disposiciones que se adoptan son las siguientes:

1.^a Muros perpendiculares al eje de la obra, y paralelos, por tanto, al de la carretera, siempre que no se trate de cruzamientos oblicuos. Llámense estos muros *de acompañamiento, en vuelta ó á escuadra*, y se dibujan en la figura 37.^a, en la que *ab* y *bc* representan respectivamente los cortes por *a'b'* del muro y el estribo. Aquél se prolonga lo necesario para dejar sitio á las tierras, que quedan formando el cono *mn**p*, *m'n'p'*, *m''n''p''*, cuyas generatrices tienen la misma inclinación que el talud del terraplén; de modo que la extrema *mn*, *m'n'*, *m''n''* está contenida en ambas superficies, y á lo largo de ella se verifica la tangencia. Muchas veces se reviste con tepes ó empedrado el pie del cono para defender las tierras de la acción del agua.

2.^a Muros perpendiculares al eje de la vía y paralelos al de la obra, que se llaman *muros en ala rectos*: se hacen de ladrillo ó mampostería y se coronan con ladrillos puestos á sardinel, ó con losas, sillarejo ó sillería. Quedan en prolongación de los estribos (figuras 35.^a y 36.^a) y, por consiguiente, la albardilla sigue la dirección de la línea de máxima pendiente del faldón del terraplén.

3.^a Muros oblicuos á los ejes de la obra y del camino, denominados *en ala oblicuos*, ó simplemente *aletas* si son de pequeñas

dimensiones. Tienen, de ordinario, paramentos verticales, que forman ángulo de unos 20° con el eje de la tajea (fig. 34.^a): á veces, sin embargo, se les da talud, resultando los que en Estereotomía se conocen propiamente con el nombre de muros en ala, ó sea en rampa, talud y esbiaje; pero este sistema introduce complicaciones inútiles, que representan exceso de gasto. En el cuerpo de los muros y sus coronaciones se usan los mismos materiales que se han indicado en el párrafo anterior.

Cada una de las tres disposiciones reseñadas ofrece sus ventajas é inconvenientes. Los muros en vuelta son los más económicos, pero los que peor protegen las tierras; los en ala rectos son más baratos que los oblicuos, y, en cambio, éstos dirigen perfectamente las aguas, tanto á la entrada como á la salida.

La cimentación de las obras varía, como es natural, con la clase de terreno en que se han de establecer. Si éste es bastante resistente, se asientan directamente sobre él los macizos, abriendo tan sólo zanjas pequeñas. Cuando sean de temer socavaciones, se dispone un zampeado de mampostería ú hormigón hidráulico en todo el ancho de la obra, que sirva de cimiento corrido á los estribos (fig. 35.^a) En los frentes se construyen con mampostería los muretes *a*, llamados *rastrillos*, que defienden el zampeado en las partes más expuestas á socavaciones. Á menudo el macizo de cimentación no tiene más ancho que el necesario para sustentar los muros, reemplazándose el zampeado general con un *encachado*, que no es sino un revestimiento de piedras grandes unidas con mezcla hidráulica.

Casi siempre se hacen las tajeas normales al eje de la vía; pero en ocasiones tienen que ser oblicuas, y entonces es indispensable cubrirlas con losas para evitar los dispendios ocasionados por la construcción de bóvedas oblicuas, que no son admisibles en obras de importancia tan exigua, ó aparejar oblicuamente nada más que los frentes.

En terrenos muy quebrados es común que presenten los cauces fuertes inclinaciones: desvíos oportunos suelen permitir establecer las obras de fábrica con pendiente longitudinal poco perceptible; pero si así no fuese, pueden seguirse dos métodos: ó construir la obra con escalones, como indica la figura 38.^a, ó dar á toda

ella el declive necesario, conservando horizontales las cabezas, conforme se ve en la figura 39.^a (1).

En el caso de que una tajea no dé suficiente desagüe, conviene muchas veces aumentarlo yuxtaponiendo varias, en vez de construir otra obra de un solo claro y más luz. Los grupos así formados se designan por el número de partes y la luz de una de ellas, diciéndose, por ejemplo, *grupo de cinco tajeas de un metro de luz*. No se diferencian de las descritas sino en que tienen pilas intermedias de poco espesor, como indica la figura 40.^a

En caminos provisionales ó de importancia muy escasa se pueden admitir tajeas más sencillas aún que las que se han reseñado. Cabe cubrirlas con tableros de madera; formar la solera, tapa y estribos con losas yuxtapuestas, y darles sección triangular, empleando únicamente tres órdenes de losas. Por último, en los ferrocarriles es común no cubrir las tajeas de poca altura, constituyendo los llamados *pasos abiertos*.

ALCANTARILLAS, PONTONES Y PUENTES.—En estas obras no se emplean nunca losas para cubrirlas, sino bóvedas de más ó menos importancia. Muchas de las reglas establecidas respecto á tajeas les son aplicables; pero el examen detenido de las diversas circunstancias que hay que tener presentes en su proyecto y ejecución, sale fuera del programa de esta asignatura y corresponde á la de Puentes. Sólo se harán algunas ligeras observaciones, comunes á casi todas las obras destinadas á salvar corrientes: 1.^a, debe acometerse la ejecución, por lo menos de tajeas y alcantarillas, desde el principio de los trabajos, á fin de facilitar los transportes de tierras en las obras de explanación; 2.^a, después de demarcadas en el terreno las zanjas de cimientos, se practican las excavaciones necesarias y se rellenan con la fábrica que corresponda, verificándose luego el replanteo minucioso de estribos, pilas y muros en las plataformas respectivas; 3.^a, á medida que se vayan elevando aquéllos, se ha de cuidar de ir ejecutando los terraplenes de los costados con las precauciones reseñadas en el capítulo precedente, para evitar asientos desiguales, que podrían comprometer la estabilidad; y 4.^a, el firme no ha de descansar

(1) Estos tipos y otros varios aparecen en el *Cours pratique de travaux publics*, de los Sres. Clémencet y Vigreux: París, 1891.

nunca en el trasdós de las bóvedas ni en las losas de tapa, para lo cual se interpone una tongada de tierra regada y apisonada, de espesor mínimo de 0^m, 15.

MODELOS OFICIALES.—Con objeto de simplificar el trabajo de los Ingenieros, publicó el Gobierno en 1857 colecciones de dibujos de tajeas, alcantarillas y pontones, de luces y alturas diversas, para tener tipos aplicables á la mayoría de casos. Los modelos se redactaron por tres Ingenieros nombrados al efecto, Don Lucio del Valle, D. Víctor Martí y D. Ángel Mayo, de imperecedera memoria en el Cuerpo: el fruto de su trabajo está contenido en dos tomos voluminosos, consagrado el primero á tajeas y alcantarillas y el segundo á pontones. Se estudiaron 23 tipos de tajeas de 0^m,50, 0^m,75 y un metro de luz, variando las alturas en el eje desde 0^m,50 á dos metros; 39 de alcantarillas de 1^m,50, 2, 2^m,50 y 3 metros de claro y alturas comprendidas entre uno y 6 metros; y 58 de pontones de 4, 5 y 6 metros de luz y cotas bajo la clave limitadas entre 2 y 10 metros. Á cada modelo acompaña un cuadro, en que se expresa la cubicación de las embocaduras en la extensión de un metro lineal por cada lado y la de un metro corriente de obra, especificando las diversas clases de fábrica que se proyectan, y estableciendo, según sean aquéllas, las modificaciones oportunas en los espesores. El conjunto de la colección sólo merece alabanzas, aunque conviene advertir que en algunos modelos, muy contados por cierto, se deslizaron errores en la cubicación ó en las dimensiones de muros en ala.

En el resumen general de obras inserto al principio de cada tomo se puntualizan los modelos que comprende y se indica la clase de arco más conveniente para alturas diferentes de las de aquéllos.

Por último, debe observarse que si bien las colecciones oficiales simplifican mucho el trabajo técnico de redacción de proyectos, no es preceptiva la aplicación de sus tipos: el Ingeniero queda en libertad de utilizarlos ó de estudiar otros distintos, siempre que crea que las circunstancias lo aconsejan (1).

(1) Para la redacción de todo el artículo relativo á *Obras para salvar corrientes de agua*, se ha utilizado en gran parte la Memoria escrita en 1882 por el Ingeniero D. Ramón Peironcely, en aquella fecha alumno de la Escuela.

III.—CRUZAMIENTOS DE CARRETERAS CON OTRAS OBRAS.

CLASIFICACIÓN.—Con muchísima frecuencia una carretera tiene que cruzar otra vía de la misma especie, un ferrocarril ó un canal, y el cruce puede efectuarse á nivel, ó bien á cierta altura, quedando la carretera por cima ó por bajo de la obra que atraviesa: de aquí, pues, que los cruces sean *á nivel, superiores ó inferiores.*

PASOS Á NIVEL.—Los encuentros á nivel de carreteras no dan lugar á obras especiales de ninguna clase: cuando el cruzamiento se efectúa entre una carretera y un camino de hierro hay que establecer barreras y tomar precauciones especiales en la disposición de los carriles; pero estos asuntos no es natural estudiarlos al tratar de las vías ordinarias. Claro es que las carreteras y canales nunca se cruzarán á nivel.

PASOS SUPERIORES É INFERIORES.—Es bien raro que dos carreteras se crucen á diferentes alturas de rasante; sin embargo, en las calles ocurre con alguna frecuencia, ocasionando la construcción de obras de verdadera importancia. Ejemplo se tiene, sin salir de Madrid, en el viaducto metálico que abre paso á la calle de Bailén, á unos 20 metros de cota máxima por encima de la de Segovia, que fué proyectado y construído por el Inspector general del Cuerpo, D. Eugenio Barrón.

En cambio, los pasos superiores é inferiores de carreteras, al cruzar ferrocarriles y canales, no pueden ser más comunes. Nada corresponde decir en este libro acerca del proyecto y ejecución de estas obras, que tienen á veces proporciones considerables: sólo se harán ligeras advertencias acerca de las dimensiones mínimas de luz y altura con que se han de construir, y que en todos casos habrán de ser suficientes para que se pueda efectuar holgadamente el tráfico por la vía inferior.

Concretando las indicaciones á los cruces más numerosos, esto es, á los de carretera y ferrocarril, y suponiendo primero que éste pase por encima de aquélla, lo que constituirá un paso inferior con relación al camino de hierro, y superior respecto del ordi-

nario, se acostumbra en España que la luz de la obra sea igual al ancho del camino cuando éste sea carretera del Estado ó provincial: se han hecho pasos de 4 metros de claro para caminos vecinales, y no hay inconveniente en descender hasta 3 metros para los de herradura. En cuanto á la elevación, ha de ser, por lo menos, de 5 metros bajo la clave, si el paso está cubierto con bóveda; pero puede reducirse á 4^m,30 si el vano se salva con vigas horizontales de madera ó hierro.

En los pasos superiores con relación al ferrocarril é inferiores á la carretera, esto es, cuando el primero efectúa el cruceamiento por debajo de la segunda, la altura libre medida sobre los carriles habrá de ser de 5 metros como mínimo. Respecto de la luz hay que distinguir dos casos, según que el camino de hierro tenga una ó dos vías. Si es de una sola, la luz del paso no habrá de bajar de 5 metros, quedando entonces un huelgo de 1^m,64 entre los ejes de los carriles y los paramentos de los estribos. Los ferrocarriles de doble vía, suponiendo que la entrevía sea de 1^m,80, exigen luz mínima de 8^m,50, siendo entonces de 1^m,60 el intervalo que separa los estribos de los ejes de los carriles más próximos, latitud suficiente para la circulación del material móvil.

CAPÍTULO III.

FIRMES.

Según se dijo al clasificar las obras que comprende una carretera, el *firme* es un suelo artificial de suficiente resistencia, sobre el que se verifica la rodadura de vehículos y el tránsito de animales de carga. Puede hacerse de materiales muy distintos, pues son muchos los que sirven para formar un manto protector que impida la desagregación del terreno natural por el tráfico y los agentes atmosféricos, á la par que proporcionan superficie bastante tersa y dura para que el movimiento se efectúe en buenas condiciones.

De todos los firmes es el más usado en carreteras el constituido con piedras partidas ó machacadas, bien trabadas entre sí: á éstos habrá, pues, de consagrarse especialísima atención, sin perjuicio de dar á conocer otros, como los empedrados, enlosados, entaru-

nario, se acostumbra en España que la luz de la obra sea igual al ancho del camino cuando éste sea carretera del Estado ó provincial: se han hecho pasos de 4 metros de claro para caminos vecinales, y no hay inconveniente en descender hasta 3 metros para los de herradura. En cuanto á la elevación, ha de ser, por lo menos, de 5 metros bajo la clave, si el paso está cubierto con bóveda; pero puede reducirse á 4^m,30 si el vano se salva con vigas horizontales de madera ó hierro.

En los pasos superiores con relación al ferrocarril é inferiores á la carretera, esto es, cuando el primero efectúa el cruceamiento por debajo de la segunda, la altura libre medida sobre los carriles habrá de ser de 5 metros como mínimo. Respecto de la luz hay que distinguir dos casos, según que el camino de hierro tenga una ó dos vías. Si es de una sola, la luz del paso no habrá de bajar de 5 metros, quedando entonces un huelgo de 1^m,64 entre los ejes de los carriles y los paramentos de los estribos. Los ferrocarriles de doble vía, suponiendo que la entrevía sea de 1^m,80, exigen luz mínima de 8^m,50, siendo entonces de 1^m,60 el intervalo que separa los estribos de los ejes de los carriles más próximos, latitud suficiente para la circulación del material móvil.

CAPÍTULO III.

FIRMES.

Según se dijo al clasificar las obras que comprende una carretera, el *firme* es un suelo artificial de suficiente resistencia, sobre el que se verifica la rodadura de vehículos y el tránsito de animales de carga. Puede hacerse de materiales muy distintos, pues son muchos los que sirven para formar un manto protector que impida la desagregación del terreno natural por el tráfico y los agentes atmosféricos, á la par que proporcionan superficie bastante tersa y dura para que el movimiento se efectúe en buenas condiciones.

De todos los firmes es el más usado en carreteras el constituido con piedras partidas ó machacadas, bien trabadas entre sí: á éstos habrá, pues, de consagrarse especialísima atención, sin perjuicio de dar á conocer otros, como los empedrados, enlosados, entaru-

gados, de ladrillo y de asfalto, que se aplican principalmente á vías urbanas. Al final del capítulo se dedicarán algunas páginas al estudio de andenes y aceras.

I.—FIRMES DE PIEDRA PARTIDA.

CONDICIONES DE ESTABLECIMIENTO.

Condiciones generales á que han de satisfacer.—El carácter esencial de los firmes de piedra partida ó machacada es que están compuestos de fragmentos irregulares de material, extendidos en montón y no colocados á mano, como sucede en los empedrados. El firme ha de descansar en terreno que ofrezca la suficiente solidez para que los vehículos más pesados que transiten por el camino no ocasionen la introducción de las piedras en el subsuelo: por tanto, si no se satisficiese naturalmente esta condición, sería preciso ejecutar obras de saneamiento ó establecer la plataforma de tal manera que las presiones se repartieran en superficie bastante extensa.

El firme, además, ha de tener el espesor necesario para que no lo desagreguen y corten las cargas más pesadas, y estar dispuesto de modo que no puedan estancarse en él las aguas que recojan los terrenos adyacentes y las que directamente caigan sobre la carretera. Estos últimos requisitos se logran, según se dijo en la página 38, construyendo cunetas y dando á la superficie de rodadura perfil convexo ó cóncavo, á fin de que las aguas se dirijan á aquellas zanjas, ó se reúnan en los costados ó el centro, hasta salir por puntos á propósito.

Firmes antiguos.—En casi todas las naciones de Europa se construyeron los firmes durante mucho tiempo sobre un cimiento de piedras gruesas, dándoles espesor considerable. Este sistema no era absurdo en vista del sistema de conservación que se empleaba, reducido á rellenar groseramente de piedras, las más veces sin machacar, los baches y rodadas que presentaba la carretera, y esto tan sólo en las épocas en que se hacía efectivo el impuesto de prestación personal, por lo común en primavera y otoño, después de la siembra y recolección.

Hasta mediados del siglo XVIII, el tipo general de los firmes era el que representa la figura 41.^a: un cimiento de uno ó dos lechos de losas, *AB*, colocadas de plano; dos filas de piedras gruesas, *C* y *D*, llamadas *maestras*, que sostenían el firme propiamente dicho, formado por piedras de distinto tamaño, cuidando de colocar abajo las mayores. El espesor en el centro, incluyendo la cimentación, no bajaba de 0^m,50 á 0^m,60, y el bombeo de la superficie, ó sea la relación de la cuerda á la sagita, llegaba á ser $\frac{1}{20}$.

Á pesar de la solidez aparente del afirmado, las vías solían estar intransitables, tanto por efecto de su mala conservación, como por la poca estabilidad del enlosado de asiento, sobre todo si el terreno era arcilloso.

Firmes de Trésaguet.—Á mediados del siglo anterior, Trésaguet, Ingeniero de la demarcación de Limoges, estableció nuevos principios para la construcción de firmes, que prevalecieron por bastantes años. Propuso emplear la disposición que indica la figura 42.^a El fondo de la caja tiene el mismo bombeo que la superficie de la vía ($\frac{1}{20}$); el espesor en el centro se reduce á 0^m,27, y las maestras se labran de suerte que no presenten al exterior más que una arista y dejen los bordes ó mordientes de la caja con una inclinación de 20°. El cimiento se limita á una fila de piedras puestas de canto, á modo de nuestros empedrados de cuñas, sin tratar de que todas ellas tengan el mismo tizón. El resto de la piedra debía colocarse por capas, reservando para la última, de 0^m,08 de espesor, la piedra más dura, machacada al tamaño de nueces.

No pueden menos de considerarse como perfeccionamientos casi todas las innovaciones llevadas á la práctica por Trésaguet. La disminución del bombeo, aunque muy exagerado todavía, permite que los vehiculos marchen en mejores condiciones por los costados: la forma especial de las maestras borra en la superficie la división en fajas, origen siempre de surcos primero, y de rodadas más tarde, á lo largo de las líneas que las limitan; la reducción de las capas de cimentación y el menor espesor del firme, responden á una conservación más esmerada. En lugar oportuno se verá que al mismo Trésaguet se deben los primeros pasos para conservar continua y ordenadamente los afirmados; y como desde luego se

comprende y se verá comprobado en lo sucesivo, el sistema que se siga en el establecimiento de las calzadas ha de estar íntimamente ligado con el que se adopte para su conservación. Elogios merece también aquel ilustre Ingeniero, al recomendar que la última capa, esto es, la superior, se forme con material muy duro, aunque sea necesario transportarlo de puntos lejanos: es verdad que así se aumentarán algún tanto los gastos de instalación; pero se obtendrá una superficie dura y resistente, con gran ventaja para la tracción y aun para la conservación del camino.

En cambio, no parece acertado dar perfil convexo al fondo de la caja, pues el horizontal tiene las innegables ventajas de proporcionar el grueso del firme á la cuantía de la frecuentación, que es siempre más grande en el centro que en las márgenes, y de facilitar el ensanche de la zona afirmada, si fuese conveniente á causa de incremento considerable en el tráfico, sin necesidad de cambiar el sistema de construcción ó de dar á las nuevas fajas un espesor de piedra injustificado. Verdad es que hay Ingenieros que combaten el fondo plano por temor á los encharcamientos; pero ya se dijo en las págs. 42 y 43 que, á lo menos dentro de las circunstancias climatológicas de nuestro país, no hay motivo para rechazar el suelo horizontal, que sólo conserva á veces ligeros vestigios de humedad, en firmes bien conservados, siempre que las soleras de las cunetas se establezcan convenientemente.

En la Memoria que en 1775 presentó Trésaguet al Consejo de Puentes y Calzadas (1), proponía el perfil descrito para los tramos en que la inclinación no pasara de 3 por 100; desde este límite se mostraba partidario del perfil cóncavo ó del inclinado. Aquél es en extremo incómodo para el tránsito de vehículos, y sólo ofrece la circunstancia favorable de disminuir los movimientos de tierra y la longitud de las obras de fábrica, por reducirse el ancho de la explanación á causa de suprimirse las cunetas; también es cierto que permite establecer una banqueta continua de tierra, á lo largo de los terraplenes algo elevados, evitando la construcción, no muy frecuente por otra parte, de malecones ó pretilos. Sea como quiera,

(1) Equivalente á nuestra Junta Consultiva.

ni el Consejo aprobó el perfil cóncavo, ni ha prevalecido después.

En cuanto al perfil inclinado del lado del desmonte, en las secciones en ladera, aparte de que es difícil conservarlo, colocaría á los vehículos en posición permanente tan poco á propósito, que no parece se haya empleado nunca.

El método de Trésaguet fué el practicado, por lo común, en casi todas las naciones, si bien modificándolo, según las circunstancias. Se comprende, por ejemplo, que se prescindiese del cimientado de cuñas cuando el firme había de asentarse en roca viva, y tal aconteció en el paso de los Alpes por el Simplón, al abrir el camino militar construído en tiempo de Napoleón I. Sin embargo, las carreteras, ya muy entrado el siglo actual, dejaban mucho que desear, pues la conservación era deficiente, á pesar de la buena doctrina sembrada por Trésaguet.

Firmes de Mac-Adam.—Hacia 1820 empezó á usarse en Inglaterra, y pronto se difundió por toda Europa, el método que Mac-Adam ensayó al principio en las inmediaciones de Bristol, y con el cual se logró tener calzadas en admirable estado, gracias, más bien que al sistema de construcción, á la conservación esmerada á que se sujetaron. No se han observado en lo sucesivo todas las reglas establecidas por aquel Ingeniero; pero no es menos cierto que á él se debe el que las carreteras hayan entrado en nueva fase, como lo comprueba el hecho de que los firmes de piedra partida se conozcan con su nombre, *macádam*, en el lenguaje técnico de la mayor parte de las naciones. Conveniente es, por tanto, analizar con detención los fundamentos del sistema, lo cual facilitará en extremo el trabajo sucesivo.

CIMENTOS.—Mac-Adam se muestra opuesto al lecho de cimentación. «Si es verdad, dice, que la vialidad de un firme de piedra partida depende exclusivamente de la buena conservación de la capa que constituye su superficie; si es cierto también que, una vez atravesada dicha capa, la carretera se pone pronto intran-sitable, porque al penetrar las ruedas en los intersticios que dejan entre sí las piedras de los lechos inferiores destruyen por completo el firme, ¿no es lógico pensar que esas capas de piedras de tamaños diferentes son punto menos que inútiles, y que se podrían suprimir, aumentando en cambio el grueso de la capa de piedras

machacadas, construyéndola con más esmero, y limitando á ella el macizo del afirmado?»

El razonamiento es exacto; pero la conclusión no debe admitirse sin algunas restricciones. En primer lugar, la cimentación podrá ser oportuna en ciertos casos, considerándola como medio de dar al firme asiento sólido en terrenos de escasa resistencia. En segundo, y muy principalmente, no hay que perder de vista que la supresión del cimientto se funda en que las ruedas de los vehículos no han de atravesar nunca la capa de piedra machacada, lo que sólo se consigue merced á una conservación asidua é inteligente; en suma, si ésta se puede organizar, por tener los recursos y el personal idóneo necesarios, no es dudoso que debe admitirse el principio de Mac-Adam; mas de lo contrario, convendrá no prescindir de la base de empedrado con arreglo al método de Trésaguet ó al de Telford, que muy en breve se dará á conocer. Si en España, donde la conservación de carreteras se ha desatendido por largos períodos, se hubieran ejecutado aquéllas con cimientos adecuados, es seguro que, á pesar del aumento de gastos de instalación, la economía definitiva habría sido de mucha entidad, teniendo en cuenta las cantidades enormes que en diversas épocas se han consumido en restablecer firmes completamente deshechos. Otra circunstancia procede considerar: la capa de cimientos da rigidez al afirmado, y disminuye, por tanto, los gastos de tracción, como se puntualizará en este mismo artículo.

Á pesar de todo, la práctica corriente, á lo menos en el centro y mediodía de Europa, es suprimir el cimientto, lo cual está justificado, porque en todos los países se concede atención cada vez más sostenida á los trabajos de conservación.

PERFIL TRANSVERSAL DEL FIRME. — Mac-Adam combate la apertura de caja para colocar el firme, que él disponía elevado sobre la plataforma, constituyendo una especie de pedraplén, por temor á la humedad excesiva que pudiera acumularse en el fondo. Es probable que sea prescripción muy acertada en comarcas húmedas, como Inglaterra; pero ya se ha dicho que en España puede encajonarse sin riesgo la piedra.

El firme debe disponerse, en concepto de aquel Ingeniero, con superficie convexa, de poco bombeo ($\frac{1}{4}$, próximamente), y con un

espesor uniforme que no pase de 0^m,25. No cabe duda de que la disminución de la curvatura es de todo punto favorable para el tráfico, y que no empece al libre movimiento de las aguas hacia las cunetas ó taludes de los terraplenes. Como con excelente criterio decía el Ingeniero Jefe, Dumas, en una notable Memoria escrita en 1843 é inserta en los *Anales de Puentes y Calzadas*, á nada responden los bombeos exagerados, tan comunes en las carreteras antiguas: si éstas se conservaban mal, por grande que fuese la curvatura transversal, las aguas se estancarían en los baches y rodadas de la superficie; al contrario, en firmes tersos corren aquéllas sin obstáculo alguno, con la única salvedad de que la pendiente lateral sea un poco más acentuada que la longitudinal, para evitar que las aguas deslicen á lo largo de la vía.

La uniformidad de espesor podrá estar justificada por el temor de que se produjesen encharcamientos si el firme se asentase en suelo plano; mas de no ser así, siempre convendrá mayor grueso en el centro por las razones que se adujeron en la pág. 42.

El espesor máximo de 0^m,25 aunque bastante inferior al de los firmes antiguos, pudiera aún reducirse, suponiendo una conservación esmeradísima. Los párrafos siguientes de la Memoria de Dumas arrojan mucha luz en este importante asunto, por más que encierren ciertas exageraciones:

«El espesor mínimo que se puede dar al firme depende de las dimensiones de los materiales de que se compone, pues es evidente que con fragmentos de 0^m,10 sería imposible reducirlo á este límite, á menos de colocar las piedras yuxtapuestas; y en tal caso, presentándose aisladas á la acción de las ruedas, se aplastarían ó se hundirían, según la naturaleza del subsuelo. Pero se concibe que con materiales de 5 ó 6 centímetros de dimensión máxima, mezclados con otros más pequeños, se logre formar una masa solidaria, cuyo grueso no exceda de 0^m,10, como se ha comprobado repetidas veces por la experiencia, juez inapelable en asuntos de esta índole. Bastará citar un ejemplo: al suavizar una pendiente entre la glorieta de los Campos Elíseos y el arco de triunfo de la Estrella, fué necesario en 1840 construir un terraplén y un afirmado nuevo en la parte baja de este trozo de la avenida de Neuilly. En cuanto estuvo terminado el terraplén, se cubrió con una capa de guijarros de 0^m,10 de grueso, añadiendo unos 0^m,02 de detritos: la piedra era pedernal de calidad muy mediana, y los fragmentos se extendieron sin machacar y tal como se recogían. A los quince días la trabazón era perfecta y desde entonces el firme se mantuvo en excelente

estado, á pesar de que son muy contadas las carreteras cuya frecuentación sea comparable á la de esta avenida.

»La resistencia de firmes tan delgados, cuando apenas están comprimidos, se explica por el hecho de que la presión que las ruedas ejercen en la superficie se transmite lateralmente y se reparte en la base en una gran extensión: se forma, pues, una pirámide de materiales solidarios, que no pueden ceder más que por el hundimiento de toda la masa, lo cual es casi imposible. Cuando la trabazón es completa, el macizo se asemeja á un monolito, cuya resistencia á la compresión no necesita justificarse.

»Puede ocurrir la duda de si el espesor del firme habrá de depender de la naturaleza de los materiales, de la del suelo y de la entidad de la frecuentación.

»Es innegable que los materiales medianos se desgastan más que los buenos; y cómo por lo común son más baratos, no suele haber inconveniente en aumentar el grueso del firme para obtener mayores garantías. No obstante, si la conservación está bien organizada, si se cuida de que la superficie esté siempre tersa y se reemplaza con oportunidad el material desgastado, no se concibe que la vía pueda correr ningún riesgo. Es cierto que se desgastará aprisa; pero todo se reduce á hacer bacheos ó recargos más frecuentes ó abundantes.

»Lo mismo pasa con la naturaleza del terreno que con la de los materiales: su importancia es escasa, siempre que el firme se conserve bien y constituya una especie de manto impermeable. La buena ó mala calidad del subsuelo es indiferente, en el momento que no esté sometido á la presión de las ruedas ni á los agentes atmosféricos. No cabe duda que la influencia sería grande, si se dejara que se formasen rodadas y, sobre todo, si llegaban á adquirir cierta profundidad; pero en una carretera bien conservada, la superficie no presentará rodadas ni siquiera surcos.

»Por último, aunque la frecuentación sea muy activa, no producirá más efecto en una calzada tersa que aumentar el desgaste, lo mismo exactamente que ocurre con materiales medianos. Si se cuida de reemplazar con continuidad la piedra consumida, nunca llegará á reducirse el espesor del firme á límites que pudieran causar temores: el ejemplo señalado de la avenida de los Campos Eliseos es concluyente.

»En suma, ni la calidad inferior de los materiales, ni la mala naturaleza del suelo, ni la cuantía de la frecuentación, exigen imperiosamente que se aumente el espesor del firme, si se organiza la conservación de suerte que se reemplace constantemente el desgaste y que la superficie esté siempre tersa y bien saneada. No hay, por tanto, sino aplicar el sistema de conservación que satisfaga á esos requisitos.

»Así, pues, con las salvedades expuestas, puede considerarse suficiente, en rigor, el grueso de 0^m,10, en cualesquiera circunstancias. Empero no debe recomendarse la reducción á dicho límite en todos los casos sin tener en cuenta para nada las condiciones especiales en que haya de encontrarse el camino. Quizá sea prudente aumentar el espesor hasta 0^m,15 y aun algo

más en casos excepcionales, si bien todo lo que sea pasar de 0^m,20 deberá calificarse de completamente inútil.

»Concíbese que se podría llegar al mínimo absoluto de firme, no extendiendo en la plataforma de la explanación ninguna capa regular de piedra, sino construyéndolo gradualmente por bacheos sucesivos, operando del mismo modo que se efectúan los trabajos de conservación. Este sistema, con el cual se obtiene pronta y económicamente una buena superficie de rodadura, daría excelentes resultados en terrenos resistentes, siempre que la circulación no fuese demasiado grande: si no se aplica, es porque requiere personal numeroso de peones camineros inteligentes y prácticos.»

Se ha creído oportuno entrar en todos los pormenores que anteceden, porque la cuestión que se debate es de extraordinario interés. Las consecuencias que del examen efectuado se desprenden, son las siguientes: 1.^a, un espesor muy pequeño de firme, poco más de 0^m,10, basta para que el tránsito de vehículos se verifique sin dificultad; 2.^a, el espesor que se adopte está ligado estrechamente con el sistema de conservación, que permitirá reducirlo tanto más cuanto más perfecto y adecuado á las circunstancias sea aquél; 3.^a, si se desatienden en períodos largos las vías sujetas á tránsito algo activo, no sólo habría de aumentarse el grueso del afirmado, sino que convendría que la piedra machacada descanse en cimiento sólido.

CONDICIONES DEL MATERIAL.—Mac-Adam establece que la piedra se ha de machacar, con objeto de que presente formas irregulares y angulosas que faciliten la trabazón del firme, debiendo desecharse los cantos rodados y no empleando material que no se halle exento de substancias térreas, pulverulentas, cretáceas ó arcillosas.

Nada hay que objetar respecto á la necesidad de partir las piedras y de no emplear cantos rodados, que por su tamaño no debieran machacarse; también es verdad que el material ha de estar limpio de arcilla, y en general de cuantas substancias se conviertan rápidamente en polvo ó barro; pero en cambio no se ve inconveniente en que estuviera mezclado con gravilla, que en resumen serviría de cuerpo aglutinante ó *recebo*, como pronto se verá.

No se dirá nada, por ahora, reservándolo para el artículo referente á construcción de afirmados, acerca de las ventajas é inconvenientes que ofrecen las diversas clases de rocas que se suelen emplear.

TAMAÑO DE LAS PIEDRAS.—Daba gran importancia Mac-Adam á que todos los fragmentos fueran de igual tamaño; así es que la recepción se efectuaba por sus agentes con balanzas, rechazando todas las piedras que pesaran más de seis onzas inglesas (187 gramos). Dos puntos hay que discutir: 1.º, si es ó no ventajoso emplear piedras de distintos tamaños; 2.º, cuáles son los elementos que más directamente influyen en las dimensiones á que convenga partirlas.

Á primera vista parece que fragmentos de magnitudes variadas habrían de amoldarse mejor, contribuyendo á que el firme trabase con rapidez; pero la experiencia demuestra que no es así. Verificándose el tránsito por un afirmado compuesto de piedras desiguales, se observa que al cabo de algún tiempo (tanto más corto cuanto más activa es la circulación) las más gruesas suben á la superficie, formando las llamadas *calaveras*, que si no se hacen desaparecer en seguida, ocasionan, sobre todo en pavimentos duros y bien conservados, choques violentos que son perjudiciales en alto grado para los caminos y los vehículos. La aparición de las piedras mayores en la superficie se patentiza llenando un cajón con material mezclado y sometiéndolo á sacudidas: el fenómeno se presenta antes á medida que aquéllas son más violentas. De estos hechos se deduce que siempre es preferible la igualdad de los fragmentos; pero que no puede tenerse tolerancia alguna en este particular, cuando se trate de vías muy frecuentadas. Así lo reconocieron los Ingenieros encargados del servicio municipal de París (1), al establecer que la recepción se haga con gran rigor, no admitiendo ningún canto que no pueda pasar en todos sentidos por un anillo metálico de 0^m,06 de diámetro, ni que lo efectúe por otro de 0^m,02: aun así, en los acopios existirán piedras de 0^m,03 ó 0^m,04, que, tratándose de vías de tanta circulación como las calles de una capital importante, sería ventajoso separarlas para aprovecharlas en otros firmes ó en la capa superior del mismo, si se ejecutase con varias. Para la separación es muy á propó-

(1) Véase la Memoria escrita en 1865 por el Inspector general Sr. Homberg, inserta en los *Anales de Puentes y Calzadas*.

sito la zaranda ó criba cilíndrica, que se supone ya conocida (1).

En cuanto al tamaño á que se ha de machacar la piedra, se comprende desde luego que habrá de variar con la naturaleza de ésta, y que á medida que sea más dura, los fragmentos deberán tener menores dimensiones: así lo juzgaba Mac-Adam al prefijar peso uniforme para los guijarros, pues según la roca es más dura y compacta, su densidad aumenta, y se necesita, por tanto, menor volumen para un peso determinado. La cuestión es clara, aunque algunos Ingenieros españoles, siguiendo las erróneas doctrinas sustentadas por autores franceses, se hayan empeñado en sostener lo contrario (2).

Otro elemento puede justificar las dimensiones que se den á las piedras, que es la naturaleza del tráfico á que esté sujeto el camino y la de los vehículos que lo hayan de recorrer. De ordinario, por las carreteras transitan desde los carros más pesados hasta carruajes ligerísimos; mas en ciertas circunstancias la circulación es muy especial. Una vía destinada exclusivamente, por ejemplo, al acarreo de grandes sillares desde las canteras al punto de embarque ó de empleo, apenas la recorren más que carretas de llantas muy anchas; por el contrario, en un paseo, como el de coches del Retiro, sólo se encuentran vehículos de llanta estrecha. Ahora bien: como se comprende que el firme resistirá mejor si las ruedas se apoyan en varias piedras que en una sola, es claro que, á igualdad de las demás condiciones, convendrá partir el material más menudo en el segundo caso citado.

Las dimensiones máximas de los fragmentos dependerán, por consiguiente, de su naturaleza y de la clase de circulación: suelen variar entre 0^m,03 y 0^m,06 para todo el macizo del firme, si se construye de una capa, ó para la superior si está formado de varias.

EXTENSIÓN DE LA PIEDRA Y CONSOLIDACIÓN DEL AFIRMADO.
—Mac-Adam construía los firmes por capas, reservando el material más duro para la de encima, en caso de que no fuese homo-

(1) Véase la obra de *Materiales de construcción*, del autor de estas líneas (segunda edición, 1891, pág. 184).

(2) Véanse: Vallés, *Études sur les chaussées empierrées*; París, 1855; y el curso autografiado de *Carreteras*, que sirvió de texto en la Escuela de Caminos; Madrid, 1873.

géneo. No admitía consolidación artificial: el afirmado hacía clavo por la acción misma del tráfico, y los huecos que quedan entre las piedras se rellenaban á expensas de los detritos de aquéllas, proscribiéndose terminantemente la adición de recebo.

Por más que diga Debauxe, que ataca la construcción por capas, fundándose en que no se comprende la necesidad en el momento que se prescinde de cuerpo de agregación, parece lógico admitir el principio de Mac-Adam, aun cuando no hubiese heterogeneidad de material. Con efecto, verificándose la trabazón á causa de las presiones ejercidas por las ruedas sobre la calzada, no es posible que las acciones se transmitan á una profundidad de 0^m,20 ó 0^m,25, y la práctica demuestra que sólo alcanza á unos 0^m,08 ó 0^m,10; de suerte que no hay más remedio que acudir á la extensión por lechos, si se quiere que la compacidad del macizo no deje que desear.

Respecto al sistema de consolidación y á la adición de recebo, hay que disentir del parecer del eminente Ingeniero. Comenzando por el segundo punto, salta á la vista, y la experiencia diaria lo comprueba, que un material menudo, que no se convierta en seguida en polvo ó lodo, y que, á ser posible, reúna condiciones complementarias de las de la piedra, no sólo será adecuado para rellenar los intersticios que dejan los fragmentos, aun después de acercarlos cuanto sea dable por la compresión, sino que servirá de cemento para hacerlos más solidarios y lograr la resistencia apetecida. Este principio se admite hoy por todos los Ingenieros y hasta se aplicaba en Inglaterra por algunos, pocos años después de Mac-Adam, como resulta de la Memoria escrita en 1850 por el Sr. Darcy, Inspector general de Puentes y Calzadas, que fué comisionado por el Gobierno francés para estudiar las carreteras de la Gran Bretaña.

Así, pues, se aceptará la conveniencia de recebar los firmes, aunque con la restricción de que la materia empleada sea de buena calidad, desechando todas aquéllas que estén muy mezcladas con tierra y prefiriendo siempre recebo calizo para firmes silíceos y viceversa. En el caso que sólo se pueda disponer de recibos arcillosos, será mejor no emplearlos y acudir al sistema de Mac-Adam, efectuándose la trabazón á expensas del mismo material,

con los déritos que produzca su compresión ó con los que se agreguen procedentes del machaqueo ó de los desperdicios de cantera. Se insiste en este particular, porque es frecuentísimo no prestar á la elección de recebo toda la atención que merece; no hay más que ver el que se usa en Madrid en paseos y calles afirmadas con piedra partida: es una arena arcillosa que en cuanto llueve forma barro tan abundante, que se hace imposible el paso de una acera á la opuesta, y aun resulta incómodo por las cintas de adoquines colocadas en prolongación de las calles transversales.

Resta hablar de la consolidación. Es evidente que construyéndose los caminos para comodidad y facilidad del tránsito, no es lógico hacer que éste coopere á la ejecución de las vías, y que lo natural es entregarlas á la explotación en buen estado de viabilidad. Sin embargo, no merece censuras Mac-Adam por admitir tan sólo la compresión natural ejercida por el tráfico, porque hasta 1830 no se emplearon en Inglaterra rodillos destinados á acelerar la trabazón de firmes, y Polonceau fué uno de los primeros que propuso en Francia, en 1834, la aplicación de aquellas máquinas á la consolidación de afirmados.

Las ventajas que reporta el nuevo sistema se especifican perfectamente en los párrafos de la Memoria ya citada de Dumas, que se copian á continuación:

«La trabazón del firme por el tránsito de vehículos se efectúa lenta é irregularmente y con enorme pérdida de fuerza, porque las presiones obran al azar: claro es que si la consolidación se lleva á cabo por medios racionales, como los que puede emplear la administración, saldrá mucho más económica, porque la regularidad, el orden, la organización del trabajo suponen por necesidad buen empleo y aprovechamiento de fuerzas. Pudiera objetarse que aunque no sea favorable para el público, es beneficioso para el Estado no hacer los gastos que la operación lleva consigo; mas es un error. La administración, que es la encargada de dirigir las fuerzas sociales, no debe aislarse de sus administrados, imponiendo á la tracción una pérdida de 10 por 100 para que el Erario ahorre 1, máxime si se atiende á que esta relación no tiene nada de exagerada.

»Pero hay más: los intereses fiscales y públicos, lejos de ser antagónicos, se hallan en perfecto acuerdo. La administración puede prescindir de consolidar las carreteras, mas no de conservarlas; pues bien, la conservación de un firme nuevo sin trabar es costosísima por mucho tiempo, porque si aquél impone grandes incomodidades á los vehículos, éstos le hacen sufrir

fatiga exactamente proporcional, por el tan conocido principio de la igualdad entre la acción y la reacción: parece como si el tráfico quisiese protestar á su modo contra un sistema defectuoso. Prepárese, por el contrario, una superficie tersa y trabada, y la rodadura de vehículos se verificará con suavidad, sin ocasionar desperfectos, compensándose con creces los gastos de consolidación con la economía realizada en la conservación. De lo dicho se deduce que el Estado, tanto por razones de orden fiscal, como por rendir culto á los sanos principios, no debe abrir al servicio público, más que vías que se puedan recorrer desde luego, sin exigir esfuerzos considerables de tracción. Se examinarán los medios de llegar á este resultado.

»Obsérvese que la compresión ejercida por las ruedas de los vehículos es la que determina la trabazón, y que el efecto será tanto más rápido y completo, cuanto mayor anchura tengan las llantas y más pesadas sean las cargas. El medio indicado para llegar artificialmente al propio resultado, consiste en someter el firme á la presión de una rueda muy ancha y pesada, es decir, en usar el llamado *rodillo ó cilindro compresor*, cuyas excelentes condiciones, señaladas hará veinte años por Polonceau (1), están hoy confirmadas plenamente por la experiencia.

»Para que el rodillo funcione con economía, ha de cumplir dos requisitos: 1.º, reclamar el menor esfuerzo posible de tracción para un peso dado; 2.º, prestarse á recibir cargas variables, de suerte que se pueda aumentar la presión á voluntad, y hacer menos costosos los transportes de la máquina cuando haya que llevarla á otro sitio.

»El cilindro satisfará á la primera condición, si su diámetro es el de las ruedas mayores que se usan, de 1^m,80 á 2 metros, pues se sabe que la tracción es inversamente proporcional á la raíz cuadrada del diámetro (2). Es cierto que con dimensiones mayores se conseguiría disminuir más la fuerza de tiro; pero el aparato sería difícil de mover y presentaría inconvenientes el arrastre por caballerías. El diámetro de 1^m,80 á 2 metros requiere un ancho de 1^m,50 para que el equilibrio de la masa sea bastante estable (3).

»Se puede aumentar el peso haciendo hueco el interior del rodillo, ó agregándole un bastidor con cajones, que reciban carga mayor ó menor.

»Los cilindros usuales son de hierro colado ó de madera con zunchos de hierro: pesan vacíos unos 3.000 kilogramos; 6.000 á media carga, y de 8 á 10.000 con la máxima que pueden admitir. Por tanto, la presión varía de 20 á 67 kilogramos por zona de un centímetro, esfuerzo bastante inferior al que ejercen las ruedas de los vehículos más pesados; pero, en cambio, obra de manera muy distinta, comprimiendo al mismo tiempo, en gran

(1) Recuérdese que Dumas escribió su Memoria en 1843.

(2) Todo lo relativo al coeficiente de tracción se trata en la sección IV de esta obra.

(3) Más adelante se verá que las dimensiones de los rodillos que se construyen en la actualidad son algo menores.

extensión, los materiales, que no pueden escaparse, como ocurre con las ruedas ordinarias. Además, la experiencia acredita que el efecto producido es muy suficiente, siempre que se organicen bien los trabajos.

»Cuando se entrega á la circulación un firme nuevo sin consolidar, las circunstancias que determinan á la larga su trabazón son las siguientes: 1.ª, el aplastamiento de parte de los materiales y la incorporación de las substancias térreas adheridas á las ruedas, que rellenan poco á poco los huecos; 2.ª, la alternativa de las influencias atmosféricas, y, sobre todo, la acción de las lluvias. Como el rodillo aplasta poco el material, no agrega nada al firme y no permite contar con la lluvia por el corto espacio de tiempo en que actúa, es indispensable suplir estas deficiencias con remachaqueo de la piedra de la superficie, extensión de una pequeña capa de recebo y riegos.»

Hasta aquí la Memoria de Dumas, á la que sólo ocurre objetar que la agregación al firme de substancias térreas debe reputarse como perjudicial, y que nada se opone, antes procede recomendar, que se use buen recebo en todos los casos, aun cuando la consolidación se verifique por el tránsito.

Innegables son las ventajas de consolidar artificialmente los firmes; pero, por desgracia, no siempre es factible, ya por no poseer los aparatos necesarios; ya porque en pendientes superiores al 4 ó 5 por 100 los rodillos ordinarios, ó por mejor decir, los tiros, desagregan el afirmado, aparte de lo costosa que resulta la tracción; ya por tratarse de localidades muy secas, como ocurre en varias provincias de España, en que los riegos son imposibles, en el sentido económico de la palabra. En cualquiera de estas circunstancias, no hay más remedio que apelar á la compresión natural, ó en todo caso recurrir al apisonamiento ó al empleo de rodillos pequeños, procedimientos muy caros y mucho menos enérgicos que el cilindrado común.

En el artículo referente á *Ejecución de firmes de piedra partida*, se describirán los rodillos ordinarios movidos por fuerza animal, así como los de vapor, que tanto se usan hoy en vías urbanas; entonces se reseñarán también las diversas operaciones que deben practicarse para que la consolidación artificial produzca los resultados apetecidos.

Parecerán enojosas las prolijas discusiones que preceden; pero gracias á ellas, en pocas palabras cabrá el examen crítico del mé-

todo que hoy se aplica á la construcción de los afirmados de piedra machacada.

Firmes de Telford.—Empezaron á usarse en Inglaterra poco tiempo después que los de Mac-Adam, y señalan una reacción en favor de los procedimientos antiguos, pues en realidad no difieren de los de Trésaguet más que en algunos detalles.

Telford abría la caja con fondo plano, estableciendo en seguida un cimientó bombeado (alrededor de $\frac{1}{60}$) de 0^m,20 á 0^m,25 de espesor en el centro, y 0^m,08 á 0^m,10 en los mordientes, formado por piedras desbastadas, que descansaban en su cara mayor. Se rípiaba el macizo y se igualaba con mazos ó almadenas su superficie, precaución que parece perjudicial para la buena trabazón de aquél con las capas superiores. Éstas eran dos, constituídas por piedra machacada, de unos 0^m,15 de grueso entre ambas, aguardándose para extender la segunda á que hubiese empezado á hacer clavo la primera, y añadiendo muchas veces algo de recebo.

Respecto á las ventajas é inconvenientes del lecho de cimentación, nada hay que agregar á lo dicho en las páginas que anteceden; pero sí conviene discutir otra cuestión interesante. Según el parecer de muchos Ingenieros ingleses, los firmes de Telford son preferibles á los de Mac-Adam, desde el punto de vista de los esfuerzos de tiro que requieren, porque aseguran que de los ensayos practicados resulta que aquéllos están en la relación de 46 á 65. No deben admitirse en absoluto estos números, pues se comprende que han de variar en los diversos casos, según las circunstancias locales, y que la calidad del subsuelo ha de ejercer notable influencia. Mas no puede desconocerse que las calzadas con cimientó son más rígidas que las que carecen de él, y ocurre la duda de si bajo este aspecto convendrá considerarlas como más favorables para el tráfico. No es fácil resolver de plano el problema, porque son igualmente desventajosos para la circulación los pavimentos que pequen por exceso de rigidez ó por extraordinaria elasticidad: tan mala sería una superficie de rodadura durísima y pulimentada, en la que resbalarían los motores, como otra de goma elástica, por ejemplo, que requeriría enorme tracción, pues que hundiéndose el firme bajo la acción de las ruedas, se produciría el mismo efecto que si los vehículos hubieran de reco-

rrer una serie no interrumpida de baches (1). Y no cabe decir que los afirmados elásticos, al recobrar su posición primitiva, devuelven á las ruedas el esfuerzo que de ellas recibieron y que determinó la depresión, porque la reacción nunca es instantánea, aun en los materiales más elásticos.

En suma, es preferible que los firmes tengan rigidez no exagerada, y fácil será que para lograrlo convenga recurrir á la cimentación en terrenos blandos y compresibles, como con tanta frecuencia se presentan en Inglaterra. En España, por lo común, no hay que temer la poca consistencia del subsuelo; pero, dentro de los sistemas usuales de firmes de piedra machacada, es seguro que se conseguirán menores coeficientes de tracción empleando materiales que den pavimentos relativamente rígidos.

En Inglaterra ha prevaecido el método de Telford, con ligeras modificaciones en la construcción de carreteras. De ordinario, tratándose de vías urbanas, se establece sobre la caja, perfectamente consolidada, un cimiento empedrado de 0^m,20 en el centro y 0^m,15 en los mordientes, bien ripiado y apisonado: va encima un lecho de piedras partidas desiguales, de dimensiones máximas comprendidas entre 0^m,025 y 0^m,075, y cuyo grueso de 0^m,10 en el eje descende hasta 0^m,075 en los costados. Añádese recebo y se cilindra la capa, sobre la cual se extiende otra de 0^m,06 á 0^m,07 de espesor, de piedra machacada con mucha igualdad al tamaño de unos seis centímetros. Esta capa se comprime asimismo con el rodillo, agregando sucesivamente la gravilla ó arena necesarias para rellenar huecos (2).

(1) Á pesar de lo que aquí se expresa, conviene advertir que en Hanóver se ha ensayado recientemente un pavimento compuesto, según parece, de láminas de caucho de 0^m,025 de grueso, que descansan en una base de hormigón y se unen con flejes de hierro. Aseguran que el suelo resulta tan duro como el buen granito, lo que induce á creer que se emplea la goma elástica endurecida, formando quizá una especie de ebonita; que la superficie no se altera por los cambios de temperatura, y que amortigua en extremo el ruido producido por la rodadura de carruajes. Todas estas circunstancias harían muy á propósito este sistema de afirmado para vías urbanas, si no fuese por lo elevado de su coste. Conviene acoger con desconfianza estas noticias, mientras hechos repetidos no las confirmen.

(2) Para más pormenores, véase la obra de Percy Boulnois, *The Municipal and sanitary Engineer's Handbook*, segunda edición: Londres, 1892.

Procedimiento muy semejante se sigue en Chicago (Estados Unidos).

Firmes modernos.—Cuanto se ha dicho en este artículo sirve de justificación á los principios á que en la actualidad se ajusta la construcción de los firmes de piedra machacada en Francia, Italia, España y otros países, suponiendo que se conserven con esmero, y prescindiendo de ciertas modificaciones que pueden imponer condiciones locales. Los principios son los siguientes:

1.º Supresión de la capa de cimientó, á menos que la exija la escasa consistencia del suelo.

2.º Apertura de la caja en la plataforma de la explanación, dando á aquélla fondo plano y mordientes verticales.

3.º Elección de material duro, limpio de substancias térreas ó arcillosas y machacado en fragmentos, cuyas dimensiones varían entre 0^m,03 y 0^m,06, según la naturaleza de la piedra y de la circulación.

4.º Adición, siempre que sea posible, de buen recebo, en la cantidad que se especificará en el artículo siguiente.

5.º Extensión de materiales en la caja, colocándolos de suerte que resulte un bombeo tanto menor cuanto más se haya de atender á la conservación, y que, por lo general, varía entre $\frac{1}{50}$ y $\frac{1}{80}$, debiendo advertir, sin embargo, que la curvatura dependerá también de la inclinación de la rasante, pues que la pendiente transversal ha de ser un poco más acentuada que la longitudinal para que las aguas corran hacia las cunetas ó los taludes de los terraplenes.

6.º Diminución racional del espesor del firme, cuya dimensión media no necesita exceder nunca de 0^m,20 á 0^m,25, y que puede reducirse bastante, sobre la base siempre de una buena conservación.

7.º Construcción del afirmado con una ó dos capas, según las circunstancias y los medios que se empleen para consolidarlo.

8.º Compresión artificial, cuando sea factible, con rodillos ó pisones.

En España, siguiendo las huellas de los Ingenieros franceses, se construyeron todos los firmes antiguos con cimientó, al que daba gran importancia en su tratado sobre Carreteras el Inspector general del Cuerpo D. Francisco Javier Barra, que publicó su

trabajo en 1820. Después se ejecutaron con tres capas de piedras de distintos tamaños, cuyas dimensiones respectivas se patentizan con los nombres vulgares de *naranjas*, *huevos* y *nueces* que recibían. Desde hace más de medio siglo es práctica casi universal en nuestro país formar el macizo con dos capas de piedra partida: la primera ó inferior del tamaño de 0^m,06 á 0^m,09, y la segunda ó superior del de 0^m,03 á 0^m,06. Este sistema, que tiene numerosos partidarios, parece á primera vista un término medio entre los de Trésaguet y Mac-Adam; mas en realidad no responde á ningún fin práctico. Con efecto, si el firme se conserva bien, las ruedas no atravesarán nunca la segunda capa y huelga la primera; en caso contrario, con la misma facilidad que las llantas desagreguen la superior, desagregarán también la de abajo, llegando á una descomposición total del afirmado, sin encontrar los obstáculos que oponían los basamentos empedrados de Telford ó Trésaguet. Algunos Ingenieros españoles defienden el procedimiento, alegando que permite obtener economía en el machaqueo: no satisface la explicación, porque menores gastos habría suprimiendo la primera capa, aun cuando se diera al firme grueso algo mayor que el que de ordinario se asigna á la segunda. Los afirmados suelen tener un espesor total de 0^m,25 á 0^m,30 en el centro y de 0^m,12 á 0^m,15 en los mordientes, guarismos que corresponden á la dimensión media de 0^m,21 á 0^m,25 (1), suponiendo un grueso constante: claro es que si se redujera el espesor medio á 0^m,16 ó 0^m,18, se obtendría economía muy marcada, aun cuando toda la piedra se machacase al tamaño de segunda capa. Algunas carreteras se han construído ya en nuestro país con un solo lecho de cantos, y los formularios vigentes para la redacción de proyectos autorizan á los Ingenieros, como se verá en lugar oportuno, á proponer el empleo de una capa única para el firme: todo ello prueba que no son tan evidentes como se ha pretendido las ventajas que ofrece el lecho de piedra gruesa.

No se crea, sin embargo, que España es la única nación en que se disponen los firmes con dos capas de piedras desiguales.

(1) Al explicar los formularios se dará á conocer la expresión para deducir el espesor medio, conociendo los del centro y mordientes.

Desde hace mucho tiempo en las carreteras francesas se emplean guijarros de tamaño uniforme; pero en Italia es muy común construir lo que llaman *capa de fondo* con piedra natural sin machacar, excluyendo los cantos gruesos, ó bien del mismo modo que se hace entre nosotros, con piedra partida de más de 0^m,05 ó 0^m,06 de diámetro máximo. Los Ingenieros italianos afirman que así se consigue que el pavimento se asiente en base más sólida que la movediza del terreno; pero con razón dice Cantalupi, en su obra tantas veces citada, que la piedra de la capa superior suele no trabar bien con la del fondo, resultando en las épocas prolongadas de humedades y sequías baches y rodadas, que producen, primero, la aparición de calaveras ocasionadas por las piedras gruesas, y después, la completa desagregación del firme. Véase cuán conformes están esas ideas con las que antes se expusieron.

Una observación para terminar. Cuanto se ha dicho es en la hipótesis de que el firme se construya con una sola clase de material. Si se busca piedra muy resistente, aunque sea cara, para constituir la superficie de rodadura, precaución que debiera tomarse en muchos casos, las dos capas estarían perfectamente justificadas. Con efecto, para reducir en lo posible los gastos, al lecho superior sólo debería dársele el grueso mínimo que permitiera el tamaño de las piedras, 0^m,06 ú 0^m,08 por ejemplo, y en tal caso, como este espesor no sería suficiente para resistir en buenas condiciones las presiones ejercidas por fuertes cargas, convendría extender una primera capa de material de peor calidad y de la altura necesaria para lograr la solidez indispensable.

MODO DE EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Se estudiarán sucesivamente: 1.º, la manera de conseguir que el afirmado se asiente en base sólida; 2.º, la elección de los materiales; 3.º, la preparación de los mismos; 4.º, su extensión, y 5.º, la consolidación artificial con rodillos ó pisones.

Asiento sólido del firme.—El terreno tiene, por lo común, la suficiente consistencia para que el firme pueda extenderse directamente en la caja sin preparaciones previas; de no ser así, convendrá, siempre que sea factible, desviar la traza para huir de

suelos pantanosos ó movedizos. Cuando no haya más remedio que atravesarlos, es indispensable ejecutar obras de saneamiento ó consolidación, que podrán consistir en avenar la zona ocupada, establecer cimientos de empedrado ó hacer que la presión se reparta en una superficie extensa, empleando materiales de ramaje. La explicación del primer sistema no cabe dentro del programa adoptado para este libro; de las disposiciones ideadas para los macizos de cimentación se ha hablado ya al reseñar los firmes de Trésaguet y de Telford, y del tercero se dirán aquí algunas palabras.

Las faginas, cuya composición y fabricación son bien conocidas, se usan con ventaja para lograr reparto conveniente de las presiones. Se dispone sobre el suelo natural un lecho de faginas inclinadas respecto al eje del camino (fig. 43.^a), que ocupe la anchura necesaria á fin de que el esfuerzo que transmitan las cargas más pesadas sea menor, por unidad superficial, que el que pueda resistir el terreno; sobre dicho lecho se extiende una capa de grava sin machacar, encima otra de faginas, cuyos tallos formen con el eje ángulo suplementario al de los del primer lecho, y así sucesivamente, cuidando de que el ancho de las capas vaya disminuyendo; pero de suerte que la última de faginas, sobre la que ha de asentarse el firme, tenga la extensión necesaria para establecer con holgura la plataforma del camino. La tracción sobre éste resulta penosa, á causa de la elasticidad y flexibilidad de la base; mas puede efectuarse sin peligro.

Aun cuando el fundamento es el mismo, no deja de ser curioso el método usado en la provincia de Orán (Argelia) por el Ingeniero militar Sr. Poulain, para atravesar el *xot* de Chergui. Conócense en la localidad con aquel nombre árabe, depresiones, á veces de mucha superficie, que corresponden á antiguos lagos salados, cuyos fondos se han levantado á causa de atarquinamientos naturales. En los tiempos lluviosos se llenan de agua y es imposible atravesarlos; y aun cuando el líquido no llegue al suelo, se encuentra éste tan blando y húmedo, que indefectiblemente se hundirían los vehículos que intentaran pasar.

Comenzó el Sr. Poulain (1) por abrir en el terreno natural una

(1) Debaue, *Routes*.

ancha caja, que cubrió de tallos de esparto (*stipa tenacissima*), gramínea que abunda en las inmediaciones: sobre este lecho dejó que pasaran los carros que transportaban materiales, consiguiendo así formar una especie de aglomerado arcilloso, con el agua cargada de substancias térreas, que la presión hacía rezumar del subsuelo. Cubrió este primer lecho de esparto con tierra mojada; puso encima otra capa de atochas, y continuó del mismo modo hasta alcanzar la altura necesaria. Verificóse la consolidación de la superficie general haciendo marchar á los soldados á paso de carga, y se dispuso en seguida sobre el macizo una capa de esparto, con los tallos perpendiculares al eje del camino é inclinados hacia los costados, para que las aguas escurriesen con facilidad, constituyendo una especie de cubierta protectora. En la parte superior se construyó un firme ordinario con buena piedra partida. La obra resultó económica y de rápida ejecución.

Elección de materiales. — **DIVERSAS CLASES DE PIEDRA EMPLEADAS EN LOS FIRMES.** — Por lo común, no hay más remedio que recurrir á los materiales que se encuentran en la zona del camino, cuya naturaleza depende de la formación geológica. Sin embargo, como puede suceder que los haya de cualidades distintas ó que se crea conveniente emplear piedras más duras y resistentes que las de la localidad, á lo menos para constituir la capa superior, se hace necesario reseñar, siquiera rápidamente, las ventajas é inconvenientes de las diversas substancias que suelen usarse (1).

Las piedras *calizas* ofrecen grados muy diversos de dureza, desde el que corresponde á los mármoles compactos y á las calizas metamórficas, hasta el que presentan las margas propiamente dichas. Las calizas duras dan, por lo general, buenos firmes; son bastante higrométricas; el barro que producen es algo plástico, y su polvo se aglutina por la presión. Estas circunstancias explican que den mejor resultado en las comarcas secas que en las húmedas.

Las piedras *silíceas* son, de ordinario, más duras y resistentes

(1) Buena parte de lo que sobre este particular se dice está tomado de la obra de Durand-Claye.

que las anteriores: no son higrométricas, y sus detritos no se aglutinan, desagregándose con facilidad por la acción del calor y las sequías. Son muy adecuadas para localidades húmedas. Claro es que los caracteres varían con la naturaleza de la roca: los que se han reseñado convienen perfectamente al *pedernal*, piedra dura y quebradiza, y que, por tanto, la desgasta poco el roce y la hacen estallar los choques. En cambio la *cuarcita* es mucho menos quebradiza, y da firmes excelentes en todos los países. Para que se comprenda la dureza y compacidad de las cuarcitas que, dicho sea de paso, abundan en España, bastará consignar que de los ensayos practicados por el Sr. Tostain, Inspector general de Puentes y Calzadas, resulta que los firmes construídos con aquel material sólo dan un desgaste de 15 metros cúbicos por año, kilómetro y frecuentación diaria de 100 colleras, al paso que el guarismo oscila entre 40 y 55, como en lugar oportuno se verá, en los afirmados comunes hechos con material corriente.

Las rocas calizas y silíceas son las que se emplean con mayor frecuencia en España.

Las *areniscas* sonoras y compactas son muy duras, poco quebradizas y dan firmes excelentes. Producen detritos áridos, pero no tanto como los de las piedras cuarzosas. Deben proscribirse las areniscas blandas.

El *granito*, el *gneis* y la *sienita* ofrecen cualidades variadísimas: hay entre ellos rocas deleznales ó de escasa resistencia, que se desgastan mucho; producen barro abundante en épocas lluviosas, y no son aceptables para afirmados. Por el contrario, á veces tienen dureza excepcional, como el granito de Guernesey, que asoma también en la costa de Normandía, con el cual se construyen los mejores firmes de Europa.

El granito de Guadarrama es casi siempre de pésimas condiciones para emplearlo en esta clase de pavimentos, porque no resiste bien á la rodadura ni á los choques; sin embargo, en la misma sierra existen, aunque pocos, algunos filones de grano fino y apretado, que dan magníficos firmes (1).

(1) El que esto escribe tuvo ocasión de explotar uno de estos filones y emplear el material para la conservación de la carretera de Madrid á la Coruña, en la parte comprendida entre Villalba y el alto del Puerto, cuan-

Los *pórfidos* y las rocas *feldespáticas* bastante homogéneas, como el *petrosilex* y las *euritas*, constituyen materiales de primera calidad, si bien poco usados, porque suelen salir muy caros. Su dureza y la elasticidad relativa de su pasta hacen que resistan perfectamente y que sus detritos sean muy aglutinantes.

Los *anfíboles*, *serpentinás*, *ofitas* y *dioritas* presentan propiedades análogas, y son materiales muy adecuados para firmes, siempre que se escojan bien, porque su dureza varía entre límites bastante separados.

Los *basaltos*, *trapps*, *lavas*, y en general las rocas *volcánicas*, son muy resistentes y dan detritos grasos. Sin embargo, hay lavas y basaltos porosos que se aplastan con facilidad y producen mucho polvo. El trapp de los Vosgos es material tan bueno quizá como el granito de Guernesey.

Los *esquistos*, las *puñingas* y algunas piedras artificiales, como las *escorias de los hornos altos* y las *de fragua*, son de condiciones esencialmente variables. Las escorias se usan con muy buen éxito en algunas carreteras de España, inmediatas á explotaciones metalúrgicas: pueden citarse ejemplos en las provincias de Murcia y Vizcaya.

Á veces se emplean materiales mezclados, como acontece cuando se utilizan cantos rodados, recogidos en cauces de ciertos ríos, ó cuando se cree oportuno aumentar la dureza de los firmes, agregando piedras resistentes á las blandas que abundan en una localidad. Para que estas mezclas den buenos resultados, es indispensable que las durezas no sean muy distintas; de lo contrario, los desgastes no son uniformes y se forman calaveras: se disminuye algún tanto el inconveniente machacando las piedras en fragmentos muy menudos.

En suma, nada concreto cabe decir respecto á los firmes que se obtendrán con materiales de naturaleza geológica determinada: dentro de cada clase de rocas las hay de condiciones variadísimas,

do este trozo estaba sujeto á una circulación verdaderamente excepcional, á causa de que en aquella época, por los años 1862 y 1863, la Compañía de los ferrocarriles del Norte no tenía aún en explotación el paso de la cordillera. Se consiguió, no obstante, que la carretera estuviese bien conservada, gracias á la bondad del material.

y el éxito de los afirmados construídos con una misma especie de piedra, depende en gran parte de las circunstancias climatológicas de la localidad. Por consiguiente, á ningún fin práctico conducen los experimentos hechos hace ya muchos años por el Ingeniero de Puentes y Calzadas, Boisvillette, que reseña Debauve en su obra, el cual trató de averiguar las resistencias de las piedras en los firmes, colocándolas entre dos mazas de hierro y cargando de pesos la superior, ó bien haciendo que los fragmentos no descansaran directamente en la parte metálica, interponiendo al efecto una tabla, disposición que pretendía asemejaba la situación del material á la que tiene en los firmes: claro es que esta hipótesis no es admisible, y si se agrega la variedad extrema que existe en peder-nales y calizas, á los que principalmente contrajo sus ensayos, quedará patente que los guarismos á que llegó no pueden recibir aplicación de ninguna especie.

Aun es menos factible clasificar las piedras para firmes, como se hizo en unas *Instrucciones para la reparación de carreteras*, aprobadas en 1856 por la Dirección general de Obras públicas, después de oír á la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos. El art. 13 decía textualmente lo que sigue:

«El orden de preferencia de los materiales será:

»1.º Piedra caliza dura.

»2.º Cuarzo.

»3.º Piedra arenisca dura de cantera.

»4.º Piedra silícea gruesa.

»5.º Granito duro.

»6.º Pizarra dura.

»7.º Guijo ó morrillo de mediana magnitud.

»8.º Grava menuda recientemente extraída.

»9.º Piedra desigual en calidad y magnitud, recogida en la superficie del terreno.»

La lectura de las páginas que preceden demuestra el escaso rigor científico de la clasificación, no siendo éste el único punto censurable de la circular oficial. Conviene advertir que las disposiciones que contiene cayeron bien pronto en desuso, y que hoy deben considerarse oficialmente derogadas al no haberlas incluido en la *Novísima legislación de Obras públicas*, formada é im-

presa en 1878, siendo Ministro de Fomento el señor Conde de Toreno.

ELECCIÓN DEL MATERIAL PARA RECEBO.—Nada hay que agregar á lo dicho en el artículo anterior: el recebo conviene que tenga las condiciones más á propósito para que las piedras traben pronta y sólidamente; por tanto, su naturaleza dependerá de la de aquéllas, pues que ha de procurarse que las propiedades de los dos materiales sean, por decirlo así, complementarias. Las calizas, por ejemplo, se aglutinan perfectamente con recebo cuarzoso, y en cambio el calizo es adecuado para firmes de pedernal ó cuarcita: desgraciadamente no siempre es dable realizar en la práctica lo que mejor resultado produjera. De lo que sí debe huirse es de los recibos muy arcillosos, que llenan las vías de polvo ó barro, según las estaciones: cuando no se tenga á mano otros, será necesario emplearlos con extremada parsimonia ó aplicar el método de Mac-Adam, prescindiendo de toda substancia de agregación y aguardando á que lentamente llenen los intersticios los detritos del material empleado en el firme.

Preparación de la piedra.—Extraída de cantera ó recogida del suelo, es preciso machacarla en fragmentos del tamaño prescrito, según los casos. Esta operación se hace *á mano* ó *con máquinas*.

MACHAQUEO Á MANO.—Puede efectuarse dentro ó fuera de la caja. El primer medio ofrece el inconveniente de que se estropea la solera, en especial en los terraplenes, y que el trabajo resulta menos perfecto; pero en cambio permite aprovechar los detritos, que suelen ser á propósito para consolidar el firme. Si el machaqueo se hace fuera de la línea, conviene que sea cerca de la cantera ó en talleres especiales, tanto para que no se llenen las piedras de materias térreas, como para que pueda llevarse á cabo á la par que las obras de explanación y fábrica.

Los operarios trabajan de pie ó sentados. Si trabajan de pie, la herramienta usada es un mazo de dos bocas, de hierro acorado, y que pesa próximamente un kilogramo, montado en un mango flexible, generalmente de fresno, y de 0^m,80 á un metro de longitud, que constituye la *almadana* ó *almadena de mango largo*. El machacador golpea el montón, compuesto de cantos que

no tienen arriba de 0^m,15 á 0^m,20 de dimensión máxima, pues si fueran mayores hay que empezar por marrearlos con mazos de 4 á 6 kilogramos.

Para machacar la piedra cuando el operario se sienta, es preciso también que los fragmentos no sean demasiado grandes, de manera que cada uno de ellos no requiera más que dos ó tres golpes. Se coloca el machacador al lado derecho del montón; pone delante de sí una piedra grande que sirve de yunque, y va echando al otro lado los guijarros partidos. La herramienta se reduce á un martillo ordinario de mango rígido ó montado en una vara flexible de unos 0^m,40 de largo, llamándose en este último caso *almadena de mango corto*: el mazo no suele pesar más de un kilogramo. En este método de machaqueo se utilizan con frecuencia mujeres y peones menores: la operación sale más cara que por el procedimiento anterior; en cambio los fragmentos ofrecen mayor regularidad, y las mermas ó detritos son menores. Así se machacan siempre las piedras en Inglaterra; en España es común adoptar los dos sistemas, conforme se verá más adelante. Sea cual fuere el que se siga, deben desecharse todos los cantos que no tengan cierta regularidad en sus dimensiones: no son admisibles los de apariencia plana, es decir, los que presentan dos aristas del tamaño requerido, pero muy poco espesor; con mayor razón aún no han de recibirse los fragmentos demasiado pequeños en dos sentidos, que se asemejan á prismas alargados.

MACHAQUEO MECÁNICO.—Muchos aparatos se han ideado para partir las piedras: los más usuales son los *cilindros acanalados* y las *máquinas de mandíbulas*. Los primeros se emplean en multitud de industrias y son bien conocidos (1). De las segundas existen varios tipos: se describirá la de Spincer y Clermontel, usada en Inglaterra, y que dió á conocer en Francia el Inspector general de Puentes y Calzadas, Sr. Homberg, que, como ya se ha indicado, estuvo al frente del servicio municipal de París.

El aparato, que se dibuja en corte en la figura 44.^a, se mueve por el vapor, utilizando al efecto, en la mayoría de los casos, la máquina de los cilindros compresores, que pronto se reseñarán, la

(1) *Materiales de construcción*, segunda edición, pág. 426.

cual obra entonces como una locomóvil. La correa de transmisión se arrolla en la polea *C*, y los dos volantes *B*, de los que uno sólo se ve en la sección, sirven de ruedas cuando se invierte la máquina para transportarla de un sitio á otro. La piedra que se ha de machacar se echa en la capacidad *A*, entre dos mandíbulas acanaladas, una de ellas, *K*, fija, y la otra, *M*, animada de movimiento alternativo horizontal: entre ambas forman una tolva *L*, que recibe la piedra, la cual se parte por la presión á que se encuentra sometida entre las dos piezas. La *M* gira alrededor del eje *N* y recibe el movimiento alternativo por las varillas *J*, enlazadas por una parte á la cuña *R* y por otra á la biela *G* por la pieza *I*. Al árbol motor *E* va unido un excéntrico, en que termina la pieza *F*, que comunica al sistema *QRJM* la traslación necesaria para que sucesivamente se acerquen y separen las mandíbulas. El espacio que queda entre éstas se gradúa por medio de la cuña *Q*, que se baja ó sube moviendo el tornillo *P*: de este modo, la máquina puede partir los guijarros al tamaño que se desee. En *O* se indica un resorte, que tiene por objeto hacer retroceder al operador *M*, después de efectuar su trabajo. Con la disposición descrita y un ajuste perfecto de todas las piezas, se logra que el aparato no se rompa, aun cuando se presente accidentalmente una resistencia demasiado grande (1).

Los productos del machaqueo, al caer por el orificio inferior de la tolva, se reciben en una zaranda mecánica clasificadora, que permite separar el polvo, los detritos aprovechables para recebo y la piedra del tamaño prescrito.

COMPARACIÓN DE LOS MACHAQUEOS Á BRAZO Y Á MÁQUINA.— Para la debida inteligencia de lo que sigue, conviene hacer antes una observación de interés. Por lo común, un metro cúbico de piedra en grueso, medida sin descontar huecos, da un volumen menor cuando se machaca, porque se desperdicia parte del mate-

(1) Úsanse en la actualidad muchas otras máquinas de mandíbulas, como las de Newall y Archer, Hope, Baxter y Blake, que están fundadas en el mismo principio que la que se ha dado á conocer. La de Blake no difiere de la de Spincer y Clermontel más que en detalles insignificantes. La descripción de todas las citadas y algunas otras puede verse en la obra de Percy Boulnois, ya mencionada en páginas anteriores.

rial, y además porque las piedras pequeñas suelen ajustarse mejor que las grandes, disminuyendo los vacíos: no obstante, no debe admitirse el principio en absoluto, pues es claro que si se parte en los cálculos del volumen ocupado por la piedra en cantera, ó si se trata de machacar adoquines, y en general piedras de formas regulares, que se midan yuxtapuestas, al dividir las aumentarán los huecos. En la mayoría de los casos hay *mermas*, y es indispensable tenerlas en cuenta para poder calcular el volumen de piedra gruesa que debe acopiarse para producir la cantidad necesaria de material partido: por prescindir de estas *mermas*, así como de las de consolidación, de que se tratará en este mismo artículo, ó por no aparecer claramente que los Ingenieros no las olvidaron, se produjo años atrás un enjambre de reclamaciones de contratistas que costaron muchos millones al Estado.

Pues bien, de los experimentos hechos en Francia por una Comisión nombrada por el Ministro de Obras públicas, resulta: 1.º, que con el machaqueo á brazo se aprovecha mejor la piedra que con el mecánico, pues el material que por el primer procedimiento daba $\frac{1}{6}$ de *mermas*, producía $\frac{1}{5}$ con el segundo; 2.º, que los detritos son más ricos en piedrecillas utilizables para recebo cuando se usan máquinas, no pasando en este caso del 20 por 100 los residuos de polvo, y elevándose en el otro á la tercera parte; 3.º, que los fragmentos no salen de las máquinas con dimensiones tan uniformes como cuando se han partido á brazo, abundando las placas y prismas alargados, esto es, los que no tienen el tamaño requerido en uno ó en dos sentidos; 4.º, que las piedras se separan parcialmente en los aparatos de las substancias térreas con que suelen ir mezcladas; y 5.º, que con el machaqueo mecánico se obtiene una economía que se acerca al 50 por 100.

De las conclusiones que preceden, la primera y tercera son resueltamente favorables al machaqueo ordinario; la segunda es de escaso interés, y la misma Comisión manifestaba que la cantidad de material aprovechable de los detritos ha de variar mucho, según sea la naturaleza de la piedra; á la cuarta tampoco se puede atribuir importancia, porque los fragmentos no se limpian por completo en los aparatos y no debe prescindirse de lavarlos, siempre que estén cargados de materias arcillosas; por manera que sólo

resta examinar la cuestión económica. Ante todo, es de advertir que en la valuación de gastos se supone que la máquina trabaje trescientos días al año, hipótesis inadmisibles y que sólo puede realizarse en circunstancias muy excepcionales; pero además el precio que resultó fué de 2,52 francos, próximamente la mitad del medio de 5,05 que se paga en Francia á los contratistas. De estas indicaciones se deduce que la economía efectiva se ha de reducir en proporción notable, y que en España es difícil lograr con máquinas aminoración de gastos, puesto que rara vez se paga el machaqueo del metro cúbico de piedra dura á 2,50 pesetas, á pesar de la perfección con que lo efectúan los peones vascongados, numerosas cuadrillas de los cuales recorren las provincias. Pero hay otra consideración que se opondrá siempre á que se extiendan los aparatos: la tendencia de los Gobiernos es fomentar más y más la competencia de los particulares para la ejecución por contrata de los servicios públicos, y al efecto en la construcción y conservación de carreteras se dividen éstas en trozos pequeños, consiguiéndose de este modo que capitalistas muy modestos puedan aspirar á obtener la contrata de las obras nuevas en corto número de kilómetros ó el acopio del material para conservarlas en un año. En tales condiciones, es evidente que á los contratistas no les puede convenir la adquisición de máquinas relativamente costosas.

No es esto decir que no haya casos en que esté indicado el machaqueo mecánico. Bastará poner dos ejemplos: 1.º La preparación de piedra para grandes extensiones de afirmados de Mac-Adam, encerrados en zona no dilatada, como ocurre en las capitales importantes: en semejantes circunstancias se podrán obtener ventajas bien notorias, ya porque conviniendo tener la piedra en depósitos, el taller se puede instalar en condiciones excelentes, ya porque se logra aprovechar las máquinas de vapor de los cilindros compresores, cuando no se necesiten para consolidar firmes. 2.º La explotación de canteras potentes, con objeto de machacar volúmenes considerables de piedra y surtir á una comarca: tal acontece en Bélgica, de donde se exporta material para firmes hasta París.

Extensión de la piedra y el recebo.—VOLÚMENES QUE

HAN DE ACOPIARSE.—Antes de explicar el modo de verificar la extensión, es necesario entrar en algunos desarrollos, á fin de deducir los volúmenes que se necesitan de ambos componentes para ejecutar un metro lineal de firme. El volumen total del macizo se determina con facilidad, pues basta hallar el área de la sección transversal que se proyecte; pero es preciso no olvidar que al comprimir las piedras en la caja se acercan unas á otras; disminuyen, por tanto, los huecos que quedan entre ellas, y, como consecuencia, con un volumen determinado de material se forma siempre uno menor de firme.

De los experimentos hechos en 1834 por Berthault-Ducreux, que tanto se ocupó en construcción y conservación de carreteras, resulta que los huecos de la piedra machacada representan próximamente el 46 por 100 del volumen, guarismo que ha aumentado hasta 48 como término medio, en 650 clases distintas de materiales ensayados en 1879 en el depósito de la Escuela de Puentes y Calzadas; en lo que sigue se admitirá que los vacíos midan el 47 por 100, en la hipótesis de que la piedra no haya experimentado compresión alguna. Pero estos huecos disminuyen á medida que las piedras se aproximan, y se prolonga el efecto hasta que, llenos todos aquéllos por el recebó y los detritos, cada canto se encuentra como empotrado en una especie de alveolo, de paredes casi incompresibles: entonces el firme es un macizo compacto y muy poco permeable. Cuando ha llegado á este estado, un metro cúbico de piedra partida se reduce, según Berthault-Ducreux, á $0^m^3,71$, poco más ó menos; y como el material macizo ($0^m^3,53$.) ha disminuído á causa de los detritos formados, se puede aceptar que en el volumen $0^m^3,71$ de firme los vacíos que se han rellenado miden alrededor de un tercio, pues que si la piedra hubiera permanecido incólume, representarían el 25 por 100. La relación expresada está de acuerdo con los experimentos hechos por el Ingeniero Monnet, que después de numerosas calicatas en grandes longitudes de afirmados, dedujo que cuando éstos se hallan bien conservados, la proporción de detritos es aproximadamente de $\frac{1}{3}$; que si sube á $\frac{1}{2}$ el camino está mediano y la tracción resulta fatigosa, y que si llega ó pasa de $\frac{3}{4}$, puede asegurarse que el firme es malo.

De lo expuesto resulta que la consolidación determina una mer-

ma considerable en el volumen de piedra, que aun cuando haya resultado de 0,29, por unidad, en los ensayos de que se ha hecho mérito, variará indudablemente con la naturaleza de la piedra, y según sea más ó menos enérgica la compresión natural ó artificial á que se haya sometido el afirmado. En general, si se representa por $\frac{1}{m}$ la merma que experimenta el metro cúbico de piedra machacada medida sin comprimir, claro es que el volumen V de material que se necesitará para construir un metro cúbico de firme consolidado, será $V = \frac{m}{m-1}$; y conociendo lo que cubica aquél por metro lineal, se deducirá en seguida la cantidad de piedra machacada que debe acopiarse.

Para hallar el volumen de materia aglutinante que puede añadirse sin temor de constituir un firme demasiado blando, obsérvese que no conviniendo que exceda de $\frac{1}{2}$ el total de detritos, y formándose algunos de ellos, en proporciones variables, según las circunstancias, á expensas de la misma piedra, no procede emplear nunca arriba de 20 á 25 por 100 de buen recebo. Pero como quiera que no hay interés en macizar desde luego más que la capa superior, en un grueso de 0^m,06 á 0^m,08, porque la inferior se rellena poco á poco con los detritos causados por los roces interiores, es prudente no usar más volumen de recebo que de 10 á 13 por 100 del de piedra. Sobre este asunto se insistirá en la sección siguiente.

APILAMIENTO Y RECEPCIÓN DE LOS ACOPIOS DE PIEDRA MACHACADA.—En España, tanto en las obras nuevas como en las de conservación, se recibía antiguamente la piedra al peso, tomando como unidad el *cargo*, que oscilaba entre 700 y 1.000 kilogramos, según las localidades. Desde hace muchos años el abono y medición se practican por volúmenes, y no es raro aplicar la misma denominación de *cargo* á la cantidad de material que entra en el cajón de madera, sin tapa ni fondo, en que se efectúa la cubicación, y cuya capacidad suele ser de $\frac{1}{3}$ ó $\frac{1}{2}$ de metro cúbico. La piedra, en grueso ó partida, se apila en montones de volumen igual al del cajón que vaya á emplearse, á lo largo de la caja ó los paseos, y en la cantidad necesaria para que resulte, por metro li-

neal, el volumen que haya de invertirse en el firme, si se hace de una sola capa, ó en la que se vaya á construir cuando aquél haya de componerse de varias. La práctica francesa consiste en colocar la piedra partida en el eje del camino, formando un prisma continuo de base trapecial, con taludes á 45° y la altura que corresponda para que el área del trapecio sea igual á la de la sección transversal del firme.

El Ingeniero ó el subalterno en quien delegue debe reconocer perfectamente la piedra antes de emplearla; medir los montones que parezcan escasos; comprobar con anillo, si se creyera oportuno, el tamaño de los fragmentos; hacer que se remachaquen si son demasiado gruesos; que se criben si están muy mezclados, ó que se laven si se encuentran revueltos con substancias térreas.

El recebo se apila también en los paseos, y se mide y reconoce antes de usarlo.

EXTENSIÓN DE LOS MATERIALES.—Acostúmbrase en España extender en la caja, con rastras, la piedra de primera capa sin machacar: el machaqueo se hace á *tajo ó corte abierto*, colocándose los operarios de pie, perpendicularmente al eje, y avanzando todos á la vez: la operación resulta económica y los detritos quedan mezclados con la piedra; pero los fragmentos no presentan gran uniformidad. Después de comprimida ligeramente la capa con pisones ó por el tránsito de los vehículos que acarrean materiales, se procede á extender la piedra del segundo lecho, pero no sin que el Ingeniero lo autorice, previo reconocimiento de la obra ejecutada.

El material para segunda capa se machaca, por lo común, fuera de la caja, y se extiende con carretillas ó espuelas, cuidando de que afecte la forma que corresponda, para lo cual se usan cerchas que sirven de maestras. Es evidente que para que el firme tenga después de consolidado los espesores que el proyecto prescriba, será necesario aumentarlos en proporciones que sólo la práctica podrá dar á conocer en cada caso. También debe advertirse que, como por efecto de la compresión el firme tenderá á bajar más por el eje que por los mordientes, es indispensable forzar el bombeo para que resulte el definitivo que se desee.

Cuando no se recurre á la consolidación artificial, se acostum-

bra echar sobre la segunda capa otra de recebo, de grueso uniforme: el tránsito va poco á poco haciendo que el material penetre en los intersticios, sobre todo en las épocas húmedas ó lluviosas. No conviene seguir ese procedimiento: se obtendrán resultados más satisfactorios, aun cuando aumente la mano de obra, extendiendo el recebo por porciones pequeñas y aguardando á que se incorpore al firme cada una de ellas antes de emplear la siguiente.

Consolidación artificial.—En el artículo anterior se reseñaron las ventajas de la consolidación artificial, que debe efectuarse siempre que sea posible; no se insistirá sobre este asunto, entrando desde luego á describir los aparatos usuales y la manera de realizar el trabajo. Á este fin se describirán sucesivamente el cilindrado ordinario, el de vapor y el apisonamiento.

CILINDRADO ORDINARIO (1).—Los rodillos primitivos usados por Polonceau, eran de madera y duraban muy poco tiempo; en la actualidad se hacen de hierro, y entre los muchos tipos corrientes, se darán á conocer dos, construídos recientemente por el Sr. Bouillant. La figura 45.^a representa uno de ellos, cuya disposición no necesita describirse, pues se comprende desde luego: todas sus piezas son de hierro dulce ó colado, excepto las varas, que se construyen de madera y de las que hay dos juegos para que sea fácil dar la vuelta al llegar el aparato al fin de su excursión, pues que todo se reduce á desenganchar el tiro y engancharlo nuevamente en las varas opuestas. Pesa vacío 3.200 kilogramos, y unos 6.000 cuando los dos cajones de palastro se llenan de grava; el diámetro del cilindro es 1^m,20, y la longitud de sus generatrices 1^m,10; por consiguiente, la presión que ejerce por centímetro lineal es de 29 kilogramos si está vacío y de 56 á toda carga. Desde el punto de vista de la tracción sería conveniente aumentar el diámetro; sin embargo, después de haber usado rodillos de 2 metros, se ha reconocido que no es oportuno llegar á ese límite, por las dificultades que presenta la construcción y porque la sobrecarga queda demasiado elevada, comprometiendo la estabilidad del conjunto: hoy no suele pasar el diámetro de 1^m,60. Respecto á la

(1) Para este estudio han servido de base la obra de Durand-Claye y la Memoria de Dumas.

longitud de los cilindros, parece probado por la experiencia que no debe exceder de 1^m,10 á 1^m,30 para que produzca el máximo efecto útil, se adapte bien á la superficie del firme, resulte el aparato bien equilibrado y no se pase de la presión que puede resistir el subsuelo.

La figura 46.^a muestra otro modelo de rodillo metálico construído también por Bouillant. El aparato no es hueco como el precedente, sino que lleva en su interior un cajón de palastro, que se carga de agua ó piedra, pudiendo reconocerse por el registro que está indicado en el dibujo: en lo demás es semejante al descrito, llevando como éste dos cajones en los extremos del bastidor, capacidades que se llenan de grava. Tiene 1^m,60 de diámetro, 1^m,20 de longitud y pesa 5.300 kilogramos vacío y unos 10.000 con toda la sobrecarga; la presión, por centímetro lineal, variará, pues, entre 44 y 83 kilogramos. Este cilindro ofrece ventajas cuando el cajón interior se puede llenar fácilmente de agua, recibiendo, por tanto, sus principales aplicaciones en los servicios urbanos: ha de cuidarse de que la capacidad se cargue por completo de líquido, para que no se consuma parte del trabajo en vencer rozamientos. El mismo inconveniente presenta la carga incompleta de piedras, aparte del deterioro de las paredes del cajón, ocasionado por el roce.

Los cilindros se arrastran por caballerías ó bueyes: aquéllas se emplean casi siempre en Francia, formando tiros hasta de 6 y 8 motores; en España se acostumbra hacer la tracción con una ó dos yuntas de bueyes.

No sólo es necesario el rodillo para verificar la consolidación artificial: es indispensable contar asimismo con los utensilios para regar si el tiempo está seco. Los riegos se dan con bastante economía cuando se dispone de agua á presión, como ocurre con frecuencia en las vías urbanas: en caso contrario, que es el general tratándose de carreteras, no hay más remedio que apelar á cubas de madera con manga de cuero, ó cubas metálicas con tubos de regadera, que producen mejores resultados, porque ahorran el jornal de un peón: de todos modos, el trabajo sale caro si no hay facilidad de procurarse en puntos cercanos agua de corrientes naturales, de pozos, fuentes, etc.

Para cilindrar, se divide la longitud total en trozos que no excedan de 500 metros, con objeto de dar descansos frecuentes á los motores, y hasta que quede cilindrada una sección no se pasa á la inmediata. Lo más acertado es llevar el rodillo por uno de los costados: al llegar al extremo del trozo, se cambia el enganche del tiro y se le hace recorrer la margen opuesta; se continúa la compresión de estas dos zonas, dando siempre las pasadas en cada una en el mismo sentido; se consolidan luego las fajas contiguas, y se termina por la central.

La primera pasada en cada zona debe darse con el cilindro vacío, después de remachacar ligeramente la superficie del firme: así se consigue acercar los materiales y un principio de alisadura; sin embargo, si los materiales son muy blandos, comienzan á trabar desde luego. Se extiende en seguida una capa delgada de recebo, se riega si no hay humedad natural y se hace pasar el cilindro sucesivamente vacío, á media carga y á carga completa, cuidando, por supuesto, de que ésta no llegue nunca á la que mida la resistencia de la piedra al aplastamiento. Antes de cada pasada se cubren de recebo las partes del afirmado que queden descarnadas, y se dan cuantos riegos sean necesarios para que penetre el aglutinante en el interior y resulte más eficaz su acción. Es oportuno insistir en que no se abuse del recebo, á fin de que el firme no quede blando y, por consiguiente, en malas condiciones para la tracción. Sólo en un caso no importa emplearlo en demasía: cuando se dispone de agua abundante, pues entonces, al finalizar el trabajo, se puede dar un riego copioso, y haciendo pasar el cilindro, subirá á la superficie todo el sobrante, formando una masa de bastante fluidez para echarla con escobas á los desagües de la vía (1).

Se terminará lo relativo á la consolidación con cilindros movidos por fuerza animal, haciendo algunas advertencias:

1.º Al principio las pasadas del rodillo dibujan un ancho surco continuo y forman rebordes laterales, que un peón hace desaparecer, igualando la superficie: estos efectos son menos perceptibles conforme va adelantando la consolidación.

(1) Memoria de Homberg.

2.^a Á pesar de aumentar sucesivamente la sobrecarga, no se necesita, por lo común, reforzar el tiro, porque si bien el peso arrastrado es mayor, en cambio la agregación del firme hace la tracción más suave. De todos modos, es preciso emplear número suficiente de motores para que el esfuerzo que cada uno tenga que desarrollar no sea excesivo; si lo fuere, al hacer hincapié se removería el afirmado, destruyéndose la trabazón conseguida por las pasadas precedentes: ésta es la causa de no ser aplicables los cilindros ordinarios en cuanto la inclinación de las rasantes excede de 4 ó 5 por 100.

3.^a Si el espesor del firme pasa de 0^m,12, la operación hay que hacerla en dos veces, á menos de usar cilindros muy pesados, porque la acción de los comunes no se extiende á profundidades mayores. La compresión que se hace sufrir entonces á la primera capa es mucho más ligera, y en España ya se dijo que es corriente limitarla á un apisonamiento y á la producida por el paso de los vehículos.

4.^a El número de pasadas que hay que dar para consolidar los afirmados, es muy variable y depende de varias circunstancias, como la naturaleza de los materiales, la del subsuelo, el espesor del macizo y el grado de trabazón á que se desee llegar. Respecto de esto último, obsérvese que si se dan pocas pasadas, el cilindrado saldrá barato; pero el firme no quedará bien ligado y requerirá una conservación muy esmerada y, por consiguiente, cara; si las pasadas son muy numerosas, la consolidación subirá de coste, y en cambio disminuirán los gastos ulteriores: en cada caso particular habrá, pues, cierto grado de cohesión para el firme cilindrado, que corresponderá al mínimo desembolso, y que sólo la práctica podrá dar á conocer con alguna aproximación. El número de pasadas no baja nunca de 8 y á veces excede de 30.

CILINDRADO Á VAPOR (1).—Desde hace muchos años se ha intentado aplicar el vapor á la tracción de los rodillos compresores; pero hasta 1861 no ha tenido solución práctica el problema: en

(1) Buena parte de lo que se dice en este párrafo consta en el artículo inserto en los *Anales de la Construcción y de la Industria* (número de 10 de Enero de 1885), escrito por los Ingenieros, en aquella fecha alumnos de la Escuela, D. José Nicolau y D. Antonio Faquineto.

aquel año empezó á funcionar en París el cilindro de Ballaison, que describe Debaüve en su obra (1). Mas en la actualidad los mejores son los ideados por los Sres. Aveling y Porter, de Rochester, usados con profusión en Inglaterra, que se han extendido por todas las naciones de Europa y América, y que están dando resultados excelentes en Madrid y otras poblaciones de España (2). Las figuras 47.^a y 48.^a representan respectivamente los alzados lateral y de frente de la máquina, que viene á ser una locomotora con ruedas modificadas. Consta de una caldera tubular, *A*, de 20 metros cuadrados de superficie de caldeo; de los órganos de transmisión, ocultos por láminas de palastro, con objeto, sin duda, de no espantar á las caballerías, y de un ténder de 1.000 litros de cabida. El conjunto descansa en cuatro cilindros: dos de ellos, *B*, *B*, en la parte anterior, que pudieran llamarse *directores*, separados por un pequeño intervalo, y los otros, *C*, *C*, en la posterior: estos últimos reciben la acción del mecanismo, y se designarán con el nombre de *motores*. Apóyase el aparato en los rodillos delanteros, por intermedio de una pieza de hierro, encorvada en sus dos extremos, *D*, *D*, los cuales se unen al eje común de aquéllos; lleva además la pieza, en su punto medio, una clavija que entra en un orificio practicado en la masa de hierro fundido que precede á la caldera, consiguiéndose así que los cilindros directores puedan girar alrededor de un eje vertical, obrando de manera semejante al juego delantero de los vehículos ordinarios.

Se comunica el movimiento á la máquina por sectores, *E*, unidos invariablemente por uno de sus extremos al eje de los cilindros pequeños, *B*; en aquéllos descansan cadenas de transmisión, *F*, que se arrollan á un eje, *G*, paralelo al primero, el cual recibe la acción del motor por una rueda dentada y un tornillo sin fin, que se manejan desde la plataforma posterior del aparato.

(1) En Inglaterra no se construyó ningún cilindro de vapor hasta 1864.

(2) En Inglaterra se usan también los rodillos de los Sres. Green é hijos, los cuales rodillos sirven también como máquinas de tracción. En Francia los aparatos más usados hoy día son los de dos cilindros, del Sr. Gellerat, propietario del privilegio de Ballaison, aunque también se emplean algo los construídos por los Sres. Morland é hijos.

Tanto los rodillos directores como los motores son de hierro colado: á continuación se consignan sus dimensiones:

CILINDROS.	Díámetro. Metros.	Longitud. Metros.	Espesor. Milímetros.	Peso. Kilogramos.
Motores.....	1,752	0,609	12	3.089
Directores.....	1,094	0,685	8,2	1.810

Los motores están dispuestos de suerte que puedan aproximarse para disminuir la anchura de la zona consolidada: los cuatro cilindros llevan cuchillos de acero, *H*, que raen las materias adheridas á sus superficies.

La máquina pesa vacía unas 15 toneladas; su longitud es de 5^m,60, y la máxima anchura 2^m,588. Su fuerza es de 20 caballos; consume 250 kilogramos de carbón en diez horas de trabajo, lo que equivale á 1^{kg},25 por caballo y hora, cantidad que revela las buenas condiciones económicas del aparato.

Los rodillos de vapor marchan con velocidad de unos 4 kilómetros por hora, ó sea poco más de un metro por segundo. Cuando se contrata la consolidación con la Compañía ó particular dueños de la máquina, se toma como unidad la *tonelada kilométrica*, bastando multiplicar el peso del aparato por la distancia recorrida en kilómetros para saber el número de unidades de trabajo que deben abonarse.

La manera de ejecutar la consolidación difiere poco de la explicada para el caso de emplear rodillos ordinarios: debe observarse, sin embargo, que con los de vapor se pueden comprimir de una vez firmes de 0^m,25 de grueso, y que cabe aplicarlos hasta en tramos de 10 por 100 de inclinación y en curvas de radio muy pequeño. Aparte de estas ventajas, que no son de poca entidad, presentan las siguientes:

1.^a La consolidación sale mucho más económica que cuando se emplean motores animados. De los ensayos hechos en Madrid por los agentes del Ayuntamiento, ha resultado que el metro cuadrado de compresión de afirmado nuevo, de 0^m,25 de espesor en

el centro y 0^m,15 en los mordientes, cuesta 0,10 pesetas, al paso que con los antiguos se elevaba el precio á 0,35 y 0,40. Análoga economía resulta cuando se trata de un firme nuevo ó recargo de 0^m,08 á 0^m,10 de grueso, pues entonces salía á 0,25 ó 0,30 pesetas la consolidación del metro cuadrado por el método ordinario, y sólo á 0,08 por el moderno. Con los materiales usados en Madrid los espesores se reducen en $\frac{1}{4}$ ó $\frac{1}{3}$, por la compresión á vapor, según se cilindren firmes de 0^m,25 ó 0^m,10 de grueso.

2.^a Mayor interés aún que la disminución de gastos tiene la del tiempo invertido, sobre todo en vías muy frecuentadas, como las grandes arterias de las poblaciones importantes. En los experimentos hechos en París (1), se compararon, bajo todos aspectos, los rodillos comunes con los de Ballaison (inferiores á los de Aveling y Porter), cilindrando con unos y otros dos superficies iguales y en idénticas condiciones, y se dedujo que la compresión á vapor se hace aproximadamente en la mitad de tiempo.

3.^a La máquina de vapor del rodillo se utiliza con ventaja, cuando no hay firmes que comprimir, en hacer funcionar uno ó varios aparatos de partir piedra, como ya se indicó al hablar del machaqueo.

4.^a Introduciendo pías de hierro en orificios que llevan los cilindros motores en su superficie, se pueden picar los afirmados que hayan de recibir un recargo de piedra machacada: esta operación, que es muy conveniente para facilitar la trabazón de las dos capas, se hace con extremada economía, pues en los ensayos realizados en la ronda de Atocha, se vió que el coste sólo era la décima parte del que resulta con la aplicación de braceros.

Al lado de estas ventajas, los cilindros de vapor ofrecen el inconveniente de que la presión que ejercen es casi constante, no prestándose como los rodillos ordinarios, á aumentar la carga á medida que el firme va trabando. Quizá fuese oportuno construirlos de menos peso, y añadir sucesivamente sobrecargas adecuadas, que pudieran colocarse en cajones.

Á pesar de lo expuesto, los cilindros de vapor no convienen en todas las circunstancias, y no deben desterrarse los antiguos. El

(1) Véase Debaue, *Routes*.

precio elevado de las máquinas (de 15 á 20.000 pesetas); la dificultad de que funcionen continuamente en consolidar firmes ó partir piedra, y el exigir personal permanente é idóneo que devenga jornales crecidos, tienen que restringir muchísimo sus aplicaciones. Rara vez serán á propósito para el servicio general de obras públicas, á menos de concurrir condiciones muy especiales, como la afluencia á un centro de gran número de vías importantes y de activa circulación; pero en cambio están muy indicados para la construcción y conservación de calles y paseos en las capitales que cuenten con muchos kilómetros de firmes de piedra machacada. Los rodillos que se han descrito funcionan hace tiempo en Madrid, con la circunstancia de que la práctica ha demostrado lo infundados que eran los temores de accidentes ocasionados por asustarse las caballerías.

APISONAMIENTO.—Cuando no se tienen á mano rodillos ó no pueden emplearse por ser excesivas las pendientes, por la corta extensión de la superficie que se ha de consolidar ó por cualquier otra circunstancia, suele acudirse al *apisonamiento*. Los pisonos son de hierro colado ó de madera de olmo, con aros y calzos metálicos; el mango, liso unas veces, tiene otras manijas para facilitar el trabajo de los peones; pesan, por lo común, de 10 á 15 kilogramos.

La extensión de la piedra se hace por capas de 0^m,06 á 0^m,08 de grueso. Se apisona cada una hasta que se acerquen bien los fragmentos; se añade entonces en pequeñas dosis el recebo; se riega, si es necesario, y se sigue apisonando hasta que el firme haga clavo.

Este sistema no da tan buenos resultados como el cilindrado y es más costoso. Úsase poco, por consiguiente, en la construcción de carreteras, prefiriéndose, para las rampas muy inclinadas, rodillos ligeros, generalmente de piedra, que se hacen pasar muchas veces por encima de cada una de las capas, que habrán de ser bastante delgadas, para que la acción del cilindro sea sensible en todo el espesor. En la provincia de Madrid son comunes los rodillos de granito, con varas ó lanza unidas al eje, dando á los cilindros dimensiones adecuadas para que los pueda arrastrar una caballería ó una yunta.

II.—FIRMES EMPEDRADOS.

Se llaman *empedrados* los firmes compuestos de piedras, que se colocan á mano, enlazándolas más ó menos íntimamente. Pueden los fragmentos tener ó no formas geométricas, denominándose *adoquines* en el primer caso: en lo que sigue se estudiarán con alguna detención los *adoquinados*, y se dirán breves palabras de los empedrados de *cuñas* y de *morrillos*, que tienen bastantes aplicaciones; á los *enlosados* se dedicará artículo especial.

ADOQUINADOS (1).

Cimentación.—Los adoquines se yuxtaponen siempre, y como reciben aisladamente las cargas de los vehículos, transmiten íntegras las presiones al subsuelo, en el espacio que ocupa cada uno: es necesario, pues, disponer entre el terreno y el firme una materia elástica que reparta los esfuerzos. La capa de cimentación es indispensable, ya sea el subsuelo duro ó blando: si fuese de roca y descansasen en ella los adoquines, se henderían en seguida, no tardando en aplastarse; si el terreno tuviera naturaleza arcillosa, las aguas lo encharcarían, hundiéndose las piedras del afirmado y refluyendo el barro por las juntas, con la circunstancia, además, de que no siendo regulares los asientos, se deformaría bien pronto el perfil transversal.

Los requisitos á que debe satisfacer, por consiguiente, el basamento, son: 1.º, repartir las presiones en la mayor extensión posible; 2.º, ser en todos sentidos de compresibilidad exigua y uniforme; 3.º, conservar igual resistencia en las diversas estaciones y aun cuando varíe la del terreno. La arena pura es muy á propósito para lograr tales resultados, porque, como todos los materiales reducidos á fragmentos pequeños, reparte las presiones en zona tanto más grande cuanto más menudos son aquéllos; porque si se apisona bien, es poco compresible, ofrece resistencia constante y

(1) Para la redacción de este artículo han servido de base las obras de Durand-Claye, Debaúve y Percy Boulnois.

al mojarse se endurece, y, finalmente, porque no cede á la compresión y conserva en su superficie resistencia invariable, aunque no lo sea la del terreno. Esta última propiedad se patentiza con el experimento hecho por los oficiales de Ingenieros Sres. Moreau y Niel. En un cajón, *ABCD* (fig. 30.^a, lám. 2.^a), cuyo fondo tiene un orificio que se cubre con un disco, *EF*, se coloca arena bien comprimida, y se mantiene cerrada la abertura, aplicando una fuerza, *P*, igual, al principio, al peso del prisma de arena que descansa en el disco; se disminuye poco á poco la intensidad de *P* y no se observa movimiento alguno en la superficie *AD*; en un momento dado, se conserva constante la fuerza *P*, y obsérvase que se separa de la masa un sólido ojival, *EFG*, que descende con el obturador. El ensayo da el mismo resultado, aun cuando se cargue la parte superior con pesos considerables. Es claro que el fondo de la caja puede asimilarse al subsuelo de un empedrado, y que el disco móvil representa las partes reblandecidas. Hay que insistir, empero, en que la arena ha de ser pura; si es arcillosa, sus propiedades se modifican profundamente. La arena angulosa es preferible á la esférica; el tamaño no tiene influencia sensible, mientras no llegue al de la gravilla, pues entonces no se lograría el perfecto asiento de los adoquines, que no descansarían sobre el cimiento en toda la extensión de la cara correspondiente.

El espesor del lecho de arena varía, según las costumbres locales, que son fruto de la experiencia; por lo general, oscila entre 0^m,15 y 0^m,25, si bien á veces baja hasta 0^m,10 ó sube á 0^m,30. Las condiciones climatológicas no dejan de tener influencia, porque conviene que la capa alcance suficiente profundidad, á fin de que el agua que se filtre á través de las juntas del afirmado quede bastante resguardada de las influencias exteriores para que no se hiele. Con efecto, si la congelación llega á producirse, el aumento de volumen del líquido determina subpresiones que levantan los adoquines: este fenómeno, nada favorable por cierto, no tiene, sin embargo, consecuencias tan adversas para el firme, como el que se efectúa al deshelarse el agua, pues entonces recobra ésta el volumen primitivo y las piedras quedan sin asiento sólido, verificándose hundimientos en cuanto experimentan la presión originada por fuertes cargas.

En vías extraordinariamente frecuentadas, como ciertas calles de Londres, los cimientos de arena no son bastante resistentes, y se reemplazan con un macizo de hormigón, al que se da 0^m,15 de espesor, compuesto de una parte de cal ó cemento por 7 de una mezcla de arena y piedras: los adoquines se asientan sobre baño de mortero, interponiendo á veces una capa de 0^m,02 ó 0^m,03 de arena. Aunque el hormigón sea tan árido, como tiene que resultar con las proporciones indicadas, el pavimento sale á precio muy elevado.

En algunas ocasiones se sustituye el cimiento de arena con una capa de mortero, ó se rocía simplemente la arena con una lechada de cal. En localidades de subsuelo arcilloso se han solido asentar las piedras sobre otro empedrado construído con adoquines de deshecho, y en el Norte de Francia sobre una base de marga ó de ladrillos de 0^m,15 ó 0^m,20 de grueso (1). El lecho de mortero estará indicado cuando, como ocurre en los arroyos de las calles, las aguas de lluvia estén cargadas de impurezas que conviertan á la arena en barro.

Juntas.—Conforme se ha dicho ya, los adoquines se yuxtaponen; pero como nunca reciben labra esmerada, dos contiguos no se tocan más que por las partes salientes, quedando, por tanto, intervalos que se llenan de arena fina ó mediana, pues si se dejasen vacíos, en el momento que se desgastasen por los choques los puntos de apoyo, las piedras no tendrían la estabilidad conveniente: la arena, por otra parte, en virtud de las propiedades que reúne, reparte las presiones en mayor zona del cimiento, como se vió al reseñar el ensayo de los Sres. Moreau y Niel. Además, hay que evitar que las juntas se llenen de agua cargada de detritos y substancias orgánicas que, depositándose en la superficie del lecho de cimentación, transformaría poco á poco la arena, haciéndola perder sus propiedades; aun rellenando las juntas, y por muy asidua que sea la conservación, el efecto indicado se produce á la larga, sobre todo en calles sometidas á circulación activa.

Para salvar estos inconvenientes, se han usado para relleno de juntas argamasas de cal hidráulica ó cemento; el sistema no da

(1) Memoria de los Ingenieros Homberg y L'Éveillé.

buen resultado, como la base del empedrado no sea también de mortero ú hormigón, ó en sitios poco frecuentados, como patios y zaguanes, porque las trepidaciones hacen que se desagregue la hojuela de mezcla, que no puede seguir á los adoquines en sus movimientos. En las poblaciones es común, no obstante, tomar las juntas con mortero, en una zona de 0^m,50 á lo largo de los mordientes de la acera; mas entonces conviene que la cimentación sea del mismo material, á tenor de lo que se expuso en el párrafo precedente.

Otros métodos se han ensayado sin que la experiencia los sancione: tal es el de rejuntar con substancias bituminosas, que tienen el grave defecto de no adherirse bien á piedras de estructura compacta. Hoy se aplica bastante el sistema, pero para firmes de ladrillo, como se explicará más adelante.

Adoquines.—**NATURALEZA.**—Los adoquines han de presentar suficiente resistencia para soportar las cargas más pesadas que transiten por la vía: es esencial, además, su homogeneidad, para que el desgaste sea uniforme; desde luego deben preferirse los relativamente blandos y de dureza constante á los más duros, pero heterogéneos.

Los adoquines *calizos* suelen ofrecer escasa resistencia á una circulación activa; no obstante, algunas canteras los proporcionan de dureza considerable, y cuando son de compacidad uniforme dan muy buenos pavimentos. En Bilbao, Murcia, Cartagena, Sevilla y otros puntos se usan estos adoquinados, que á veces tienen el inconveniente de ser resbaladizos.

Las *areniscas duras* resisten bien, se desgastan poco y apenas se pulimentan: se ha intentado, aunque infructuosamente, utilizar las blandas haciéndolas hervir con substancias bituminosas. Los adoquines de arenisca son los empleados casi exclusivamente en París: en España se han adoptado, entre otras poblaciones, en Bilbao y Barcelona; en esta última provienen principalmente de las canteras de Monjuich.

El *granito*, como ya se dijo al estudiar los firmes de piedra machacada, es muy desigual. Ciertas formaciones geológicas, la de Guadarrama, por ejemplo, dan piedras de resistencia muy escasa á los choques y rodadura; así es que los adoquines que de ellas se

sacan se deforman con rapidez y resultan empedrados de superficie áspera y desigual, en los que la tracción es penosa é insoportable el movimiento de los coches. Con este material se construyen los adoquinados en Madrid, y tanto por las malas condiciones de aquél, como por el poco esmero con que se preparan y colocan los prismas, se distingue nuestra capital entre casi todas las de Europa por el lamentable estado de sus vías urbanas, que llaman la atención de los extranjeros que la visitan; por desgracia es achaque antiguo de la Corte, que no pasó inadvertido en el siglo XVII á los viajeros y personajes que escribieron sobre usanzas españolas (1).

Pero hay ciertas piedras graníticas, como las de Guernesey y Normandía, asimilables á los *pórfidos* y *basaltos*, que ofrecen gran resistencia á la compresión y al roce: son muy poco absorbentes y dan adoquines inmejorables, en especial para calles de extraordinario tránsito. Verdad es que el suelo resulta resbaladizo, lo que obliga á adoptar prismas de aristas pequeñas, y á ensanchar algún tanto las juntas á fin de que las caballerías hagan hincapié con más facilidad. En Londres se usan adoquines de granito; en París se ensayaron los de pórfido y granito duro, mas no se extendieron por las frecuentes caídas de caballos: cree Durand-Claye que el efecto desaparecería en cuanto los animales se acostumbrasen á marchar por suelos de esta índole.

Los adoquines de *escorias* están muy en boga, y han dado buenos resultados en Bilbao (2). No se conoce el sistema de fabricación, que es propiedad exclusiva de un establecimiento de Escocia, aunque se cree que deben de prepararse por fusión. Exteriormente, y en 4 ó 6 milímetros de grueso, ofrecen el aspecto de una caliza amarillenta; en el interior son grises, y la fractura concoidea y parecida á la del pedernal. El pavimento no puede ser más agradable á la vista, y tan duro y terso que los carruajes rue-

(1) En estos últimos años, mientras fué Director de vías municipales el Ingeniero del Cuerpo, D. Vicente Rodríguez Intilini, se adoquinaron con más cuidado algunas de ellas, entre las que puede citarse la calle de Argensola.

(2) Las noticias relativas á pavimentos de Bilbao las ha suministrado el Ingeniero D. Ernesto Hoffmeyer, Jefe que fué del servicio municipal desde 1882 á 1886.

dan con la mayor suavidad y con poquísimos ruidos; es oportuno achafianar las cuatro aristas superiores para que el espesor de las juntas impida ó dificulte el deslizamiento del ganado. Suelen asentarse estos adoquines sobre un lecho de arena, como los ordinarios; pero quedan mejor y dan firmes muy duraderos ejecutando un macizo de hormigón é interponiendo una capa delgada de arena de 3 ó 4 centímetros.

FORMAS Y DIMENSIONES.—Tres formas geométricas se adoptan para los adoquines: la cúbica, la de paralelepípedo recto de aristas desiguales y la de tronco de pirámide de base cuadrangular. Los cubos no suelen emplearse más que cuando la piedra es muy dura, y entonces se les da dimensiones pequeñas, 0^m,09 ó 0^m,10 de lado: estos adoquines son caros, porque la preparación es más costosa que la de los mayores, á igualdad de volumen, puesto que la mano de obra viene á ser proporcional á la extensión de la superficie. Es común atribuirles la ventaja de que se pueden volver hasta seis veces, recibiendo, por tanto, mejor aprovechamiento que los demás, utilizándolos en reparaciones sucesivas; mas conforme se verá al reseñar los trabajos correspondientes, nunca resultan buenos firmes variando la cara que los adoquines presentan á la acción directa del tránsito, y conviene proscribir tal sistema.

Los prismas alargados, que se ensayaron en París hace más de cincuenta años, son hoy los corrientes en casi todas las localidades. Tienen desde luego, la circunstancia favorable de que si se coloca el lado mayor perpendicularmente al eje de la vía, se disminuye el número de juntas en sentido del movimiento, que es en el que se desgastan con más rapidez las aristas, y en el que tienden á bombearse las cabezas. Estos adoquines no deben medir arriba de 0^m,10 ó 0^m,12 de ancho; la longitud llega á 0^m,25 ó 0^m,30, y el tizón es, por lo común, de 0^m,15 ó 0^m,16 (1). La ex-

(1) Los prismas que se usan en Madrid tienen de 0^m,26 á 0^m,28 de longitud; 0^m,12 á 0^m,14 de ancho, y tizón mínimo de 0^m,25. Resultan adoquines demasiado grandes, con grave perjuicio para el tránsito. Mucho más adecuadas son las dimensiones de las cabezas de los llamados *pedruscos*, con que se empedran la mayor parte de las calles y paseos, y que no son sino adoquines desbastados: miden respectivamente 0^m,16 y 0^m,10 de largo

perencia demuestra que los prismas pequeños, aun cuando hacen subir el precio de los empedrados, dan pavimentos incomparablemente mejores; por lo demás, no hay que demostrar que todas las piezas han de ser iguales para que se yuxtapongan y produzcan asientos regulares.

Los adoquines de forma de pirámide truncada, que presentan en la superficie su cara mayor, se usan con frecuencia, porque salen baratos, á causa de prestarse á aprovechar más los productos de cantera. Si las dos bases son muy diferentes, no tienen bastante estabilidad, pues las cargas pesadas los hacen girar alrededor de las aristas inferiores, y además, cuando se desgastan, dejan juntas demasiado anchas. Estos inconvenientes se aminoran y casi desaparecen, si las dimensiones homólogas de las dos bases no difieren en más de $\frac{1}{10}$.

Sea cual fuere el patrón admitido, los adoquines se labran con pico en su cara aparente y en 4 ó 6 centímetros de las de junta: en el resto no se hace más que desbastarlos. Nunca conviene labrarlos con perfección, porque las superficies demasiado lisas son poco á propósito para la tracción, y, por otra parte, es necesario que la anchura de juntas sea aproximadamente de 0^m,01, á fin de que quede espacio para la arena, cuyas funciones se han explicado ya.

Disposición de los adoquinados.—PLANTA.—Los adoquines se colocan de ordinario con juntas continuas en sentido transversal, é interrumpidas en el longitudinal. De no ser así, los vehículos llenarían pronto la superficie de rodadas: en el caso de sortarse dos vías, la práctica patentiza que el tránsito se hace con comodidad, disponiendo las filas en dirección de las diagonales del paralelogramo que forma el encuentro (1).

Si el firme está limitado por líneas rectas de aceras ó paseos,

y ancho y 0^m,25 de tizón. Es seguro que si el pedrusco se labrara algo, ó á lo menos se desbastase con cuidado, mejorarían notablemente los tan descuidados firmes de Madrid.

(1) De ensayos practicados recientemente en Inglaterra, parece resultar que colocando los adoquines en filas diagonales, en toda la extensión de las vías, se logra aminorar el ruido causado por los vehículos y que se desgasten menos las aristas de los prismas. (Véase la obra de Percy Boulois.)

y se colocan los adoquines á juntas encontradas, paralelamente al eje, claro es que no bastará un solo patrón, pues si en uno de los costados termina la fila que se considere en un adoquín del modelo corriente, las inmediatas exigirán piezas de longitud mitad. Esto no ofrece obstáculo de ninguna especie cuando se trata de calles en que el empedrado está contenido entre aceras, pues las losas de canto que las terminan sostienen perfectamente las piezas más pequeñas; pero si los costados van siguiendo líneas de paseos, es prudente emplear en los mordientes adoquines cuyo largo sea igual á vez y media el del modelo, y aun suele asentarse una fila de maestras alternadas, de longitudes iguales á vez y media y dos veces la ordinaria.

PERFIL TRANSVERSAL.—Generalmente se hace convexa la superficie de los adoquinados; y como es más tersa que la de los firmes de piedra partida, se disminuye el bombeo, que no pasa en ocasiones de $\frac{1}{100}$, con las restricciones que al estudiar aquéllos se indicaron. El perfil transversal suele ser un arco de círculo, aunque tiene el defecto de dar en las calles demasiada anchura á los arroyos, y exagerar, por el contrario, la pendiente en la unión con los paseos, si se trata de carreteras, lo cual es incómodo para el tráfico de vehículos, por la tendencia de las ruedas á caer en las fajas laterales: aminóranse los inconvenientes trazando en el primer caso, para constituir el perfil, varios arcos tangentes, cuyos radios disminuyen desde el eje á los costados, y formando la curva en el segundo con un arco de parábola ó catenaria.

El perfil cóncavo sólo se admite en calles no alcantarilladas, para que las aguas corran por el eje y encuentren salida en los puntos bajos; ó en terrenos muy húmedos en que convenga dar al fondo de la caja la forma expresada, á fin de que, reunidas las filtraciones, se puedan evacuar en los cambios de rasante ó en los sitios que se juzgue oportunos, por cualquier sistema de avenamiento.

Construcción de adoquinados.—Después de abierta la caja, se perfila y recorre con esmero, transportando los productos de la excavación, en carros ó volquetes, á los vertederos ú obras en que se hayan de emplear. Se extiende en seguida la arena, que debe sujetarse á un reconocimiento detenido, rechazando la que

esté mezclada con tierra, y cribándola, cuando los granos no sean de tamaño uniforme. Es lo común, y en Madrid práctica universal, echarla en montón, igualar la superficie dejándola un poco más alta que el nivel á que ha de quedar, y proceder inmediatamente al asiento de adoquines: el sistema es censurable, porque así no se logra nunca la incompresibilidad relativa del cimientó. Es preciso construir éste por tongadas de unos 0^m,10, regadas y apretadas con pisones de 15 á 20 kilogramos: esta operación reduce en $\frac{1}{3}$ el grueso de la capa, de suerte que si ha de medir 0^m,08 se le dará 0^m,12 al comenzar el trabajo; en cuanto al agua invertida en riegos, puede calcularse en 40 litros por metro cuadrado, si el cimientó consta de tres capas apisonadas. La conveniencia de comprimir la arena se ha reconocido en todos tiempos, hasta el punto de que antiguamente se acostumbraba en algunas regiones de Francia establecer el adoquinado sobre arena ordinaria, abrir la vía al tránsito y rehacer el firme al cabo de un año para asentar los prismas en base bien consolidada.

Preparado el lecho de cimentación, se presentan los adoquines, no sin haberlos examinado antes con el mayor cuidado, bajo los tres aspectos de cantidad, dimensiones y calidad, dando siempre importancia extrema á que sean homogéneos. Para asentar los prismas, usa el empedrador el martillo especial que representa la figura 31.^a de la lámina 2.^a: con el extremo apuntado, remueve ligeramente la superficie de la arena, en la que encaja el extremo inferior del adoquín, afirmándolo en seguida con el mazo y haciendo que quede vertical; llena las juntas con la arena que sacó al principio, y golpea las caras laterales, á fin de que el adoquín se acerque cuanto sea posible á los contiguos. Ejecutando las operaciones con esmero, resultan las juntas bien enarenadas; pero como rara vez se consigue, por lo poco que abundan los empedradores concienzudos, no hay más remedio que introducir la arena que falte con una lámina de hierro, á veces dentada, y que es análoga á la *fijsa* de albañiles. Si se dispone de agua á presión, produce excelente resultado extender sobre el adoquinado una capa de arena y dar un riego abundantísimo, pues se logra que los granos, arrastrados por el agua, penetren en toda la extensión de las superficies de junta; el exceso de material que haya podido em-

plearse se barre hacia los regueros ó cunetas, según los casos.

Después de terminadas las maniobras descritas, se acaba de asentar los adoquines, golpeando las cabezas con pisón de unos 30 kilogramos, procurando que la compresión sea enérgica y uniforme: la última condición exige que todos los prismas reciban igual número de golpes; si algunos se hunden demasiado ú ofrecen resistencia excesiva á la acción de la herramienta, deben quitarse y corregir la cimentación ó reemplazar el adoquín para que desaparezca la anomalía. Terminase el trabajo, repasando las juntas y rellenando con la fija las que hayan experimentado pérdidas de arena por el apisonamiento.

Es práctica generalizada cubrir el adoquinado de arena, en un espesor de 0^m,01 á 0^m,03, antes de abrirlo al tránsito, para que la presión de las ruedas acabe de macizar las juntas y hasta corrija los defectos de ejecución; si ésta fuere esmerada, se puede prescindir de extender la capa.

Paralelo entre adoquinados y firmes de piedra machacada.— La comparación tiene primordial interés cuando se trata de calles: el que convenga adoptar uno ú otro sistema depende de multitud de circunstancias, de suerte que en cada caso habrá de hacerse un estudio detenido antes de dar solución al problema; aquí sólo cabe resumir las ventajas é inconvenientes de ambos afirmados, bajo los aspectos de construcción, conservación, tracción y comodidad para el público.

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN. — Son incomparablemente mayores los gastos de construcción de los adoquinados que los de firmes de Mac-Adam; en cambio, la conservación de estos últimos resulta mucho más costosa, pues aunque para los empedrados se requieran operarios muy prácticos en su oficio, las faenas de conservación del firme no son continuas. Los pavimentos de piedra partida no se aplican á calles estrechas ó poco ventiladas, por la imposibilidad de mantenerlos en buen estado de vialidad; hace años se afirmó toda la calle de Alcalá, y al cabo de poquísimo tiempo hubo que reponer los adoquines en el trozo, relativamente estrecho, comprendido entre la Puerta del Sol y la desembocadura de la calle de Peligros.

TRACCIÓN.—Para vehículos pesados, la tracción es mayor en las

vías de piedra machacada que en las de adoquines; disminuye la diferencia cuando los animales marchan al trote, y se anula si la velocidad sigue aumentando (1). Las caballerías resbalan más fácilmente en los adoquinados, sobre todo si están formados de piedra dura, que se haga excesivamente lisa por efecto de los roces. Los vehículos y guarniciones se deterioran más en los empedrados, cuando las cabezas de los prismas se redondean, y se comprende bien por los choques, pequeños sí, pero continuos, á que están sometidas las ruedas.

COMODIDAD PARA EL PÚBLICO.—Los firmes de piedra machacada se ponen intransitables en tiempo de lluvia para los peatones, que sólo pueden cruzarlos siguiendo las cintas de adoquines que se acostumbra establecer frente á las bocacalles; pero son ventajosísimos bajo los aspectos de no producir el ruido insoportable ni las trepidaciones, tan perjudiciales para las casas, que son inherentes á los empedrados.

De lo expuesto se deduce que, por regla general, en calles muy frecuentadas por carruajes de carga, deben preferirse los adoquinados, por lo mucho que reducen el esfuerzo de tiro; también es común adoptar el propio sistema en las vías de circulación mixta, en que vienen á compensarse las ventajas é inconvenientes que ofrece, y en las que no estaría justificado el personal de planta que reclaman los firmes de Mac-Adam; por último, éstos reciben aplicación en calles y paseos por que transiten coches ligeros y pocos ó ningún vehículo pesado.

CARRETERAS EMPEDRADAS.—Los caminos adoquinados, y más aún los empedrados con cuñas, de que en seguida se hablará, se usaron bastante hasta hace cosa de medio siglo; pero en la actualidad puede decirse que han desaparecido todos, convirtiéndolos en firmes de piedra machacada. La considerable economía que se realiza en la construcción de estos últimos, es, sin duda, la causa de que se hayan proscrito las carreteras empedradas, á pesar de las ventajas innegables que presentan para el tiro. No parece

(1) Se verá en la cuarta sección que, de los ensayos del eminente Duppit, resulta que pueden admitirse como *coeficientes medios de tracción*, respectivamente para adoquinados y firmes de Mac-Adam, los números 0,02 y 0,03.

acertada solución tan radical: ganarían mucho las condiciones del tráfico si se empedraran los caminos sujetos á circulación excepcional de carros ó carretas. Buen ejemplo se tiene en los primeros kilómetros de la carretera de Madrid á Castellón, por los que transitan innumerables y pesados vehículos cargados de yeso, pedernal, vino, etc.: todos los esfuerzos de los Ingenieros para conservar, siquiera medianamente, el firme de piedra partida resultaron ineficaces, hasta que se autorizó, *por vía de ensayo*, á sustituirlo con empedrado, pues desde entonces el tráfico se hace sin molestias y con gran contento de los industriales. Otro caso en que parece lógico el empedrado se observa también á las puertas de Madrid, en la carretera que va á Extremadura y pasa por el Campamento que ha establecido el Cuerpo de Artillería en término de Carabanchel: el paso continuo de piezas, arzones y carros, arrastrados á veces á aire de trote, destrozan de tal modo el firme, que no hay medio de conservarlo, dentro de las circunstancias económicas normales; los reparos tienen que ser frecuentísimos, y, en suma, es de creer que se ganaría, hasta bajo el aspecto de dispendios, empedrando la carretera en el trozo que se ha señalado.

También es censurable que se afirmen con piedra machacada las travesías de pueblos, que á veces por su estrechez y mala ventilación, y siempre por la entidad y naturaleza del tránsito, así como por la masa de substancias que recibe el suelo, es punto menos que imposible lograr que se conserven aceptablemente. Háganse los firmes de cuñas ó adoquines; establézcanse ó no, según los casos, andenes ó aceras, y seguro es que los buenos resultados se tocarían pronto. No hay para qué decir que no se refiere lo indicado á travesías de grandes poblaciones, que no son más que calles de las mismas y á las que deben aplicarse los principios expuestos en los párrafos anteriores.

Aun cuando la observación no tiene interés en España, donde, como se ha dicho, apenas existen carreteras empedradas, no estará de más advertir que la conversión de estos firmes en otros de piedra partida, sólo debe acometerse después de detenido estudio, porque, aparte de los gastos que ocasiona, es notorio que se aumentarán los de conservación y tiro: podrá justificarse la trans-

formación cuando los adoquines estén en tan mal estado que sea indispensable reponerlos. En 1857 trató esta cuestión el Inspector general de Puentes y Calzadas, Charié-Marsaines, y diez años más tarde el Ingeniero Jefe Du Haut-Plessis: las conclusiones de ambos son atinadas, y las inserta Debauxe en su obra; no se cree necesario transcribirlas.

Firmes mixtos.—En las calles anchas y de gran tránsito es frecuente afirmar unas fajas con piedra machacada y otras con adoquines, para que puedan recorrerlas con comodidad los coches ligeros y los vehículos de carga, respectivamente. No se acostumbra colocar el adoquinado en el centro y el macadam en los costados, porque tal sistema, que sería á propósito en carreteras, ofrece en las calles el inconveniente de que, existiendo siempre en ellas regueros empedrados á lo largo de las aceras, el firme se desgasta antes que el material de aquéllos, formándose pocetas en que se estancan las aguas. De ordinario, el pavimento de piedra partida ocupa la faja central y los adoquinados las dos laterales, como se ha hecho en la parte de la calle de Alcalá comprendida entre la de Sevilla y la plaza de la Independencia.

En algunas poblaciones el eje de la calle sirve de límite á los dos sistemas de firmes, cada uno de los cuales ocupa, por tanto, la mitad de la anchura total. Esta disposición, aceptable para carreteras, suele aplicarse á calles servidas por tranvías, cuyos carriles se asientan en la faja adoquinada.

FIRMES DE CUÑAS Y MORRILLOS.

Firmes de cuñas.—En ciertas localidades, y Madrid es una de ellas, se usan empedrados muy bastos y hechos con material resistente, que se aplican á calles de rasantes fuertes ó sujetas á considerable tráfico de carruajes pesados, á fin de disminuir los resbalones de los tiros, ó evitar los inconvenientes que ofrecerían los adoquinados, que se destruyen con rapidez, si la piedra empleada en ellos no es bastante dura.

Los cantos silíceos con que se construyen estos firmes se denominan *cuñas*, porque tienen la forma aproximada de troncos de pirámide, pero de caras desbastadas groseramente, de modo que

el pavimento queda rugoso y el cruce de una á otra acera no puede ser más molesto para los peatones. Las cuñas usadas en Madrid son de pedernal procedente de los términos de Vallecas y Vicálvaro; su altura es de unos 0^m,18, y las bases tienen apariencia de cuadrados de 0^m,12 á 0^m,14 de lado las cabezas, y de 0^m,08 á 0^m,10 las colas.

Las cuñas se asientan sobre arena, del mismo modo que los adoquines, y la construcción del firme se ajusta en casi todas sus partes á lo dicho en el artículo anterior, procurando, hasta donde sea posible, que las juntas transversales resulten continuas, y cruzadas las paralelas á la dirección del movimiento.

Los empedrados de cuñas salen más baratos que los adoquinados, cuando se dispone de piedra á propósito, porque la preparación del material es económica; pero están plagados de inconvenientes, pues exigen más esfuerzo de tiro que los firmes de adoquines; ocasionan ruido y trepidaciones enormes, y destrozan los pies de los transeúntes que tienen que atravesarlos. En resumen, deben proibirse en calles importantes, reemplazándolos con adoquinados ó macádam, según los casos: disposiciones acertadas han sido la de sustituir con adoquines las cuñas que hasta hace poco hubo en la calle de Trajineros, y la de construir firme de piedra partida en el trozo de la de Bailén comprendido entre las plazas de San Marcial y los Ministerios. Los empedrados que se discuten podrán sustituir á los adoquinados, por razón de economía, en calles de poco tránsito, en travesías de pueblos y en algunas secciones de carretera en que concurren circunstancias análogas á las puntualizadas en el artículo precedente.

En ciertas calles, la de la Montera por ejemplo, se emplean empedrados mixtos de cuñas y adoquines: de ordinario, aquéllas ocupan la zona central, por la que se efectúa el movimiento de vehículos pesados, mientras que los ligeros marchan por las fajas adoquinadas de los costados.

Empedrados de morrillos.—Están constituidos por cantos rodados pequeños, que se asientan de pie en un lecho de arena, formando cabeza la extremidad más gruesa. Si los cantos son silíceos, los firmes, aunque bastante resistentes, ofrecen pésimas condiciones para el tráfico, puesto que la rodadura se efectúa sobre

una serie de superficies redondeadas: los fragmentos demasiado grandes producen en los vehículos movimientos intolerables; los excesivamente pequeños no tienen ese defecto, mas se pulen, son resbaladizos, no permiten que agarren bien los cascos de las caballerías, y sus cabezas puntiagudas molestan por todo extremo á los peatones: suelen preferirse los cantos de dimensiones medias, de 0^m,07 á 0^m,08 de diámetro máximo. Estos empedrados, por más que se usen mucho en el Mediodía de España, no son á propósito para vías públicas, como no se trate de pueblos de escasa importancia: se recomiendan, sin embargo, para patios, cuadras, cocheras, etc., y en particular para cubrir las soleras de cunetas fácilmente atacables por las aguas.

Los cantos rodados calizos pierden pronto el bombeo de sus cabezas, que quedan planas y forman pavimentos suaves para coches ligeros y peatones: se pueden citar los ejemplos de Bilbao y Santander, en que se construyen pasos de esta naturaleza. Cuando los cantos son pequeños, de 0^m,02 á 0^m,05 de dimensión máxima, los suelos se llaman *mosaicos*, y por lo común se unen las piedrecillas con argamasa: así está empedrada la parte central de la plaza de Don Pedro, en Lisboa, en la que los cantos son blancos y negros, y se han casado dibujando figuras (1); el piso resulta agradable para la gente de á pie.

III.—FIRMES ENLOSADOS.

Se prescindirá, por ahora, de las aceras de losas, de que se hablará al fin de este capítulo, concretando el estudio á los pavimentos dedicados principalmente á la circulación de vehículos, y examinando los *enlosados generales* y los *carriles de losas*, que apenas se emplean más que en Italia, pero que conviene conocer por si se creyera oportuno ensayarlos en localidades que tuviesen circunstancias á propósito.

Enlosados generales.—Los romanos cubrieron con losas, regulares ó irregulares, la parte central de sus calzadas, como se explica en el Apéndice número 2, que va al final de este libro; y

(1) Rebolledo, *Construcción general*.

tanto por el exiguo tráfico comercial que había por aquellos caminos, como por la ligereza y escasa batalla de los carros que formaban parte del material de guerra, que era el que principalmente circulaba por las vías, se comprende que dieran buen resultado. En la actualidad, los firmes, aun en el interior de poblaciones, se hallan sujetos á considerables presiones por las enormes cargas que á veces se acarrean, y es claro que no sería fácil que resistiesen las losas sin hacer movimientos que exigirían reparos muy costosos y molestos además para la circulación. Por otra parte, las losas muy duras, como deben serlo para que se hallen en buenas condiciones, se pulimentan en seguida, sobre todo si la pendiente pasa del 2 por 100; los cascos de los motores no agarran bien, y son inevitables continuos resbalamientos, aunque se tome la precaución, que sólo es un paliativo, de estriar la superficie, imitando las juntas de los adoquines ordinarios.

Á pesar de todo, ciertas calles casi horizontales y por que sólo se permite el paso á coches ligeros (algunas de Génova, por ejemplo), se enlosan con piedras, irregulares á veces, pero casi siempre de forma geométrica y de 0^m,12 á 0^m,16 de tizón y dimensiones aparentes de 0^m,40 á 0^m,50. Por lo común, y para evitar largas juntas longitudinales, se da á las filas inclinación de 45° con relación al eje.

Por los pavimentos enlosados ruedan los carruajes con mucha suavidad; pero á los defectos que se señalaron hay que añadir el de salir carísimos. Las losas han de ser de piedra muy dura: la igualdad de tamaño y la homogeneidad son aún más indispensables que en los adoquines, porque al ceder una sola de ellas se produce una depresión importante en el pavimento; la labra tiene que hacerse casi con tanto cuidado como la de una obra de cantería; por último, el asiento exige mucha perfección, á fin de que la losa se apoye en toda su cara inferior en la arena, y de que ésta quede comprimida por igual.

En las calles cerradas al paso de vehículos desaparecen gran parte de los inconvenientes reseñados, y es frecuente enlosarlas. Ejemplo ha presentado hasta hace poco la calle de Sevilla en Madrid, y lo ofrece todavía en la capital de aquel nombre la renombrada calle de las Sierpes. Los enlosados reciben también aplica-

ción ventajosa en pavimentos de patios, pasajes, habitaciones de planta baja, etc.

Carriles de losas (1).—En algunas poblaciones de la Italia septentrional se usa hace años un firme mixto: carriles de losas por donde marchen las ruedas, y un adoquinado ó empedrado de morrillo en el centro, destinado á las caballerías. De este modo se realiza, á lo menos en teoría, conservar la suavidad de tracción y movimiento propia de los enlosados, y evitar que los motores resbalen, dándoles suelo adecuado á la constitución de sus remos.

La figura 53.^a de la lámina 5.^a representa la planta y corte de una calle de Milán. Los dos costados de la vía están ligeramente inclinados hacia el eje, donde se recogen las aguas, que por sumideros van á parar á una atarjea longitudinal. Los firmes se asientan sobre un cimiento bien apisonado, de piedra partida, de unos 0^m,15 de grueso, y cubierto con una capa de arena de espesor variable, y cuyo mínimo, de 0^m,05, corresponde á las fajas ocupadas por las losas. Éstas tienen ancho constante, comprendido entre 0^m,60 y 0^m,75; de 0^m,20 á 0^m,25 de tizón, y longitudes diversas, pero que no bajan de 1^m,50; se construyen de granito duro. Entre los carriles va la calzada para las caballerías, á que se da comúnmente 0^m,70 de anchura, y que es un empedrado ordinario, casi siempre de cantos rodados. Á los costados se disponen otras dos vías, de unos 2 metros de latitud, para los vehículos y animales que no sigan la pista; por último, á continuación de aquéllas, y sin ningún resalto, corren aceras de un metro de ancho, enlosadas como indica la planta. Las aguas que caen en las cubiertas de las casas bajan por canalones aplicados á las fachadas á conductos subterráneos que desembocan en el acueducto central.

Á menudo se establecen dos ó más vías enlosadas en una misma calle: cuando ha de haber dos, se asientan tres líneas de carriles, sirviendo para ambas la central, á la que se da mayor ancho que el corriente.

En 1850 se ensayó un sistema parecido en Londres, el cual produjo una economía de $\frac{1}{3}$ en los gastos de tiro en *Commercial*

(1) Véase, para más pormenores que los que se consignan en este párrafo, la obra de Cantalupi, citada ya muchas veces.

Road; pero hay que advertir que ésta es una vía excepcional, que pertenece á las Compañías de los Doques, y se halla expuesta á un tráfico considerable de vehículos de casi iguales condiciones y que caminan con la misma velocidad.

También se hicieron experimentos en París, en 1856, en los 1.800 metros de la avenida de Neuilly, comprendidos entre la glorieta de la Estrella y la puerta de Maillot; las losas eran de arenisca, de 0^m,50 de ancho: se asentaron casi todas sobre arena y una pequeña parte en hormigón. El resultado fué por completo desfavorable, porque los conductores de carruajes no hicieron caso de semejantes carriles. El Gobierno francés dispuso que el Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas, Sr. Rumeau, estudiase la cuestión en Italia y escribiera un informe aclaratorio; de este documento se copian los párrafos siguientes, en que se exponen con lucidez los defectos del sistema:

«No todos los carruajes siguen los carriles enlosados: en primer lugar, por el número excesivo de aquéllos, sus diferentes velocidades y las direcciones diversas que siguen; en segundo, porque 40 por 100, á lo menos, de los conductores, apartan deliberadamente de las losas á los vehículos. Entre los que no se encarrilan hay que contar á casi todos los coches ligeros, y á muchos que no lo hacen por la tendencia de las caballerías á seguir el enlosado; de suerte que las ruedas se mueven en las zonas empedradas, á menos que los tiros estén formados por troncos.

«El desgaste producido por los peatones, pulimenta las losas y las hace muy resbaladizas: ni las ruedas, ni los cascos de los motores causan igual efecto; sin embargo, es conveniente estriar transversalmente los carriles, cuando la pendiente pasa de 2 por 100.

«En París, donde estas vías costarían doble que en Milán y presentarían en mayor escala los inconvenientes reseñados, deben desecharse en absoluto. A lo sumo, pudieran constituir una mejora en algunas poblaciones del Mediodía, en que el empedrado de morrillo ofrece vialidad menos que mediana.»

Cantalupi reconoce la exactitud de las observaciones que preceden, y añade que en estos últimos tiempos en que se han establecido tranvías en las calles principales, las dificultades, tanto para el tránsito ordenado de carruajes, como para la buena conservación de los firmes, han aumentado notablemente. Á pesar de todo, se ha creído oportuno describir el método, que puede ser

aceptable y hasta ventajoso en caminos ó calles que reunan condiciones especiales.

IV.—FIRMES DE LADRILLO.

Firmes holandeses.—En Holanda, donde escasea mucho la piedra, se suele afirmar las calles con ladrillos puestos de canto sobre un cimientó de arena, y enlazados con argamasa. Los pavimentos se desgastan con gran rapidez; los ladrillos se aplastan bajo la acción de cargas nada exageradas, y como consecuencia no tarda en llenarse de baches toda la superficie, á pesar de que apenas circulan más que vehículos ligeros, porque la inmensa mayoría del tráfico se efectúa por canales. Los firmes descritos no se usan ya sino en calles poco importantes; en las demás se han reemplazado con empedrados ó macadám.

Firmes americanos (1).—Hoy están muy en boga en los Estados Unidos los pavimentos de *ladrillos embetunados*, que han introducido los Sres. Caduc y De Valins, de San Francisco de California. Prepáranse los ladrillos sometiéndolos en una caldera á la acción del fuego, por espacio de unas veinticuatro horas, en contacto con un hidrocarburo ó betún líquido, cuya naturaleza no puntualizan los inventores. Parece que el material después de haberse impregnado de aquella substancia, adquiere considerable resistencia á la compresión y rozamientos.

Los ladrillos preparados se asientan en un lecho de arena de unos 5 centímetros de grueso, colocado sobre la caja, á la que se da perfil paralelo al que haya de presentar la vía: tanto el fondo de aquélla como la capa de arena se comprimen enérgicamente con pisones ó rodillos. Colócanse los ladrillos á soga ó tizón, según el espesor que quiera darse al pavimento, pero siempre, como en los empedrados, con juntas corridas en sentido transversal y cruzadas en el otro; todas ellas se llenan de alquitrán mineral ó asfalto muy caliente, con lo que se logra unir con perfección los materiales y hacer impermeable el pavimento. Éste se cubre con

(1) Las noticias que se consignan están tomadas de la obra de Gillmore, *Roads, streets and pavements*, 7.^a edición: Nueva York, 1890.

una capa de la misma substancia bituminosa, también á temperatura elevada, y por fin se extiende un poco de arena gruesa ó grava fina.

En algunas ocasiones se colocan dos dagas de ladrillos: la inferior se compone entonces de piezas sin preparar y asentadas de plano, rellenando las juntas con arena; en la superficie se echa betún caliente, y encima van los ladrillos hidrocarbureados, como en el caso anterior.

No existen datos, hasta ahora, sobre la duración de estos firmes.

V.—FIRMES DE MADERA.

Se prescindirá de los *entablonados*, que se emplearon con mal éxito en América, concretando el estudio á los *entarugados*, ó sea á los pavimentos de *prismas*, *tarugos* ó *zoquetes*.

Entarugados.—CONSIDERACIONES GENERALES (1).—Los entarugados, que tanto se han extendido en los últimos años, ofrecen algunos inconvenientes que, aun cuando se pueden aminorar empleando disposiciones oportunas, no es dable hacerlos desaparecer. No tienen bastante resistencia para soportar cargas pesadas; son muy resbaladizos en tiempos húmedos ó cuando las pendientes exceden del 2 ó 3 por 100; se desgastan rápida y desigualmente á causa de su falta de homogeneidad; salen caros en casi todas las localidades, y, por último, son antihigiénicos, según resulta del parecer de reconocidas autoridades, aunque se tome la precaución de preparar los prismas haciéndoles absorber substancias antisépticas. Respecto de este último punto, conviene entrar en algunos desarrollos.

Es hecho reconocido por todos los higienistas que los pavimentos urbanos ejercen señalada influencia en la salud: por lo general, sólo se atiende á que sean duros y tersos, sin ocasionar resbalamientos; á que se desgasten lentamente y se limpien con economía; pero se prescinde de otros requisitos que tienen indiscutible

(1) Se han tenido á la vista las obras ya citadas de Percy Boulnois, Gillmore y Durand-Claye.

importancia. En todos los suelos formados de prismas ó troncos de pirámide, como los adoquinados y entarugados, no puede evitarse en absoluto que las juntas se impregnen de substancias putrefactivas, como excrementos y orines de animales, que dan lugar á exhalaciones infecciosas, sobre todo en verano; pero el efecto sube de punto en los entarugados, por la porosidad natural de la madera y la estructura esponjosa que adquiere á medida que se desgasta. El grave defecto que se indica se atenúa, es verdad, con antisépticos; pero no desaparece, pues todos los experimentos hechos hasta el día están contestes en que la preparación de los tarugos no impide que se separen las fibras y que absorban materias descomponibles, habiéndose demostrado por el Sr. Sharp, en Inglaterra, que los prismas sacados de un entarugado que se había de reparar estaban todos secos en las cabezas, pero saturados de agua y orines en la parte inferior. Con no menos energía condenan algunos médicos franceses los pavimentos de madera; véase cómo resume su juicio el Sr. Fonsagrives: «Estoy convencido de que una población húmeda, que tuviese firmes de madera en todas sus calles, se convertiría en foco de fiebres palúdicas.» Los esfuerzos se dirigen en la actualidad á sanear, permítase la frase, los entarugados: la preparación de los prismas; las precauciones que se toman en su asiento y en el relleno de juntas; el adoquinar ciertos sitios, como las paradas de los coches de plaza, contribuyen sin duda alguna á disminuir las absorciones perjudiciales, siquiera no se logre la impermeabilidad que fuera de desear.

Varios de los defectos que antes se enunciaron se remedian en gran parte. El desgaste desigual se nota principalmente en las maderas duras, que son de suyo muy heterogéneas; hoy se usan casi siempre especies blandas, que tienen compacidad bastante uniforme; en los Estados Unidos suelen ser los tarugos de pino blanco ó amarillo; en Europa de abeto rojo de Suecia y de pino de la Florida ó de las Landas.

Se facilita la marcha de las caballerías: 1.º, ensanchando las juntas, para lo cual se achaflanán las aristas, ó lo que es más común, se yuxtaponen los prismas en sentido transversal, pero se dejan huelgos entre dos filas consecutivas; 2.º, aumentando el número de juntas, disminuyendo al efecto el tamaño de los pris-

mas: las dimensiones usuales en América varían de 0^m,20 á 0^m,30 de longitud, 0^m,075 á 0^m,10 de ancho y 0^m,15 á 0^m,20 de tizón; en Francia, Inglaterra y España las aristas medias son de 0^m,22, 0^m,075 y 0^m,15; 3.º, cuidando de enarenar con esmero todo el firme en épocas de lluvias ó de hielos.

Otros inconvenientes se atribuyen á los entarugados, pero que no tienen fundamento sólido. Uno de ellos es el temor á incendios, que quizá esté justificado en poblaciones americanas en que no sólo el firme, sino hasta las aceras y casas, son de madera; en Europa no se ha presentado un solo ejemplo de fuegos producidos ó propagados por los pavimentos. Otro se refiere á que el polvillo causado por el desgaste ataca á los ojos de los transeuntes: si los firmes se conservan bien, barriéndolos á diario y regándolos cuando el tiempo esté seco, desaparece aquella contingencia. Por último, tampoco es atendible la censura del mal olor de las materias bituminosas, porque sobre no ser perjudicial para la salud, se disipa al poco tiempo.

No obstante cuanto se ha dicho, los entarugados son tan suaves para la tracción y tan cómodos para los peatones, suprimen hasta tal punto las vibraciones y el ruido y se conservan con tanta facilidad, que hay tendencia manifiesta á entarugar las calles de rasantes poco inclinadas y no sujetas al tránsito de pesados vehículos de carga. Para obtener éxito favorable, es condición precisa que las canalizaciones de agua, gas y electricidad se establezcan por debajo de las aceras ó regueros: de lo contrario, los reparos frecuentes que aquéllas exigen forzarían á levantar los prismas y la base en que se asientan, con detrimento de la vía y desembolso de cuantiosas sumas, y esto sin contar con los accidentes que puede ocasionar en el mismo firme y en las casas adyacentes la rotura de las tuberías de agua. La observación que precede se aplica á toda clase de pavimentos urbanos; mas en los de madera y en los asfálticos, que luego se describirán, es de importancia capital.

Conocidas las ventajas é inconvenientes de los entarugados, bastarán pocas palabras para reseñar los sistemas principales, que se dividirán en cuatro grupos, según la naturaleza de las superficies sobre que se asienten los prismas, á saber: 1.º, de tablonés y

arena; 2.º, de arena; 3.º, de hierro, y 4.º, de hormigón hidráulico.

ENTARUGADOS SOBRE TABLONES Y ARENA.—Nicolson fué el inventor del pavimento, cuya sección longitudinal representa la figura 54.^a: como los prismas se yuxtaponen transversalmente, nada enseñaría el corte en esa dirección. Se abre la caja, á la que se da unos 0^m,23 de profundidad respecto al nivel á que ha de quedar el firme; después de bien perfilada y recorrida, se echa una capa de arena regada y apisonada y con el bombeo correspondiente, sobre la que se dispone un entablonado general de 0^m,025 de espesor, empegado por ambas caras, de manera que su superficie quede algo áspera. Encima del entablonado se asientan los tarugos, impregnados también de antiséptico en la mitad inferior de su altura, de modo que, como en los adoquinados, resulten corridas las juntas transversales y alternadas las que corren paralelas al eje. En este sistema y en todos los que se darán á conocer, los prismas se colocan con las fibras verticales.

Entre dos filas consecutivas se deja un huelgo de 0^m,018 á 0^m,020, al que se ajusta un tablón de aquel espesor y 0^m,025 de anchura, que debe tener algunos cortes de sierra que le den suficiente flexibilidad para adaptarse al bombeo del perfil. El enlace del conjunto se hace más enérgico por medio de alfileres que atraviesan oblicuamente el listón y el tarugo y quedan embutidos en el entablonado. Los espacios vacíos que resultan sobre los listones se llenan con una mezcla de gravilla limpia y de alquitrán mineral hirviendo, que se comprime con pisones de calzos de hierro.

Todo el pavimento se cubre con una capa de la misma sustancia bituminosa y otra de arena y gravilla que no debe medir más de 0^m,025 de grueso.

El método descrito, usado en la América del Norte, se modificó empleando tarugos de dos tamaños diferentes: todos ellos de sección cuadrada, constante; pero la altura, que para la mitad de los prismas era la normal, se reducía en 0^m,08 ó 0^m,10 para los restantes. El asiento se efectuaba disponiéndolos sobre el entablonado, al tope en ambos sentidos, y alternando siempre los tarugos altos con los bajos, de manera que se formaba una especie de tablero de damas con huecos, los cuales se llenaban, como se dijo

en el párrafo precedente, cubriendo también el suelo con las capas que se indicaron.

Los entarugados sobre suelo de madera apenas se emplean ya, porque como no es posible conseguir impermeabilidad absoluta en los prismas ni en las juntas, no puede evitarse que el entablonado se humedezca, se hinche y quizás se pudra, aparte de los empujes que desarrolla y que son en extremo perjudiciales para el pavimento.

ENTARUGADOS SOBRE ARENA.—El sistema más aplicado es el del Sr. Stowe, también norteamericano, que consiste en asentar los prismas sobre un lecho de arena, de espesor variable entre 0^m,10 y 0^m,25, según la mayor ó menor consistencia del terreno natural, cuidando de apisonar bien el cimientó y de darle el mismo perfil que haya de afectar el firme. Los tarugos se colocan como en el procedimiento de Nicolson: el intervalo entre dos filas transversales es de 0^m,025, que se cubre con tablas abiseladas puestas al tope, de anchura igual al tizón de los prismas, las cuales enrasan al principio con éstos, hasta que, después de bien apisonados y sentados, se las golpea para que bajen unos 0^m,07 ú 0^m,08 y queden como marca la figura 55.^a Los huecos que entonces resultan se llenan con una mezcla de gravilla y alquitrán ó asfalto, como ya se explicó, y asimismo se cubre el pavimento con las capas de betún y arena.

Este entarugado se ensayó hace años con bastante buen éxito en Madrid, en la parte de la calle del León inmediata á la del Prado; se levantó, sin embargo, por lo mucho que se dificultaban los reparos de las cañerías de distribución de agua y gas. Aparte de este inconveniente, parece que la arena no ha de constituir base bastante sólida para los prismas, y quizá sea ésta la causa de que no haya prevalecido el método, á pesar de su economía relativa.

ENTARUGADOS SOBRE ENREJADO DE HIERRO.—Se usa en América, aunque no con frecuencia, introducir la cara inferior de los prismas en un enrejado de hierro fundido, sujetando las laterales entre placas del mismo metal, que forman cuerpo con la celosía y cuya altura viene á ser la mitad de la de los tarugos. Los prismas se preparan previamente con un antiséptico, y llevan un estribo de hierro que se apoya en las cabezas de los tabiques

divisorios de casillas. Colócanse, por tanto, al tope todos los tarugos, proporcionándose hincapié á las caballerías por medio de estrías transversales continuas, abiertas en el eje de aquéllas, las cuales se llenan de alquitrán ó asfalto. Es indispensable que los prismas ofrezcan exactitud en sus formas y dimensiones, para que encajen bien en la celosía y su yuxtaposición sea perfecta; únicamente se logra por medios mecánicos, lo que se traduce en mayores gastos de instalación.

Todos los procedimientos reseñados han tenido origen en los Estados Unidos, donde los entarugados se han propagado en grande escala, á pesar de sus defectos. En Chicago es donde gozan de más favor, y no estará de más consignar que, según las noticias suministradas por el Sr. Chesbrough, Ingeniero de aquella ciudad, los pavimentos de madera duran á lo sumo nueve años; en algunas vías muy frecuentadas y en que los vehículos tienen que ir en filas, se destruyen á los dos ó tres, y la duración media puede considerarse de siete años en calles anchas, cuando los firmes se construyen y conservan bien. El mismo Ingeniero expresa que en dicha ciudad se prefieren los prismas de encina blanca (1) á los de pino, y que en la actualidad se disponen oblicuamente con relación al eje de la calle, consiguiéndose así disminuir el desgaste.

ENTARUGADOS SOBRE BASE DE HORMIGÓN.—Los entarugados que se construyen hoy en casi toda Europa, y de que tenemos ejemplos en Madrid, en las calles del Arenal, Príncipe, Carrera de San Jerónimo, Peligros, Sevilla y Barquillo, se cimientan en un macizo de hormigón hidráulico (figuras 56.^a y 57.^a), con lo cual los prismas tienen apoyo sólido, y se prescinde del entablado que tantos inconvenientes lleva consigo. El sistema fué importado por *The Improved Wood Pavement Company*.

Un metro cúbico de hormigón se compone de igual volumen de una mezcla de arena y piedra menuda, en la relación de 1 á 2, y 200 kilogramos de cemento de Portland. Al lecho se le da de 0^m,15 á 0^m,20 de espesor, y se cubre con una capa de mort-

(1) Variedad de encina, propia de la América septentrional. Tiene corteza blanca, y su madera es bastante más elástica que la de la encina europea.

ro fino bien bruñado. La superficie ha de presentar la misma curvatura que se quiera dar al firme: á este fin, de trecho en trecho se traza el perfil con piquetes, á los que se clavan tablas flexibles que sirven de maestras para poder regularizar la forma por medio de reglas que se apoyan en aquéllas.

Los prismas, preparados previamente con antisépticos, se yuxtaponen, como de costumbre, en sentido transversal: dos filas consecutivas dejan entre sí un huelgo de 0^m, 01, cuya uniformidad se asegura con listones que se colocan en las juntas y que suelen quitarse cuando se han presentado todos los prismas correspondientes, por más que en Madrid se conservan. Viértese en la superficie alquitrán mezclado con creosota ó betún fundido, que baja hasta la chapa de cemento ó el listón, y llena los huecos en una profundidad de 2 á 4 centímetros, constituyendo al cuajarse una especie de costra antipútrida y hasta cierto punto impermeable. Se completa el relleno de juntas con mortero claro de cemento, que se puede hacer penetrar con escobas. Sobre el pavimento conviene echar una capa de piedrecillas muy menudas y angulosas, que se incrustan en la madera y consolidan el afirmado (1).

De las naciones de Europa, Inglaterra es la primera que ha usado los entarugados y en la que se han adquirido ya datos acerca de su duración, los cuales están bastante conformes con los que se han expuesto relativos á París. En las calles de gran circulación, el desgaste medio anual pasa de un centímetro: según el Sr. Haywood, Ingeniero eminente, encargado del servicio municipal de la *City* de Londres, la duración de los entarugados varía entre seis y diez y nueve años, y puede admitirse de ocho á diez como término medio.

(1) En estos últimos años se han introducido en París algunas modificaciones, que tienden á disminuir el coste sin perjuicio de la obra. Las principales son: 1.^a, reducir á 150 kilogramos la dosis de cemento, por metro cúbico de hormigón; 2.^a, reemplazar el Portland con cemento romano para la construcción de la base y el relleno de juntas, conservando el primero para la capa de mortero fino sobre que se asientan directamente los tarugos; 3.^a, no empegar sino los prismas destinados á vías de poco tránsito, usándolos al natural en cuanto el desgaste llega á 0^m, 005 al año, pues en estos casos tienen que reemplazarse antes de que se pudran. (Brown Vibert, *Le pavaje en bois à Paris*, 1892.)

En París se construyeron 350.000 metros cuadrados de entarugado desde 1881 á 1885, y en 31 de Diciembre de 1891 se habían repuesto 47.100, poco más de la octava parte, los cuales han durado de siete á nueve años (1).

En Madrid ha recibido muy bien el público los entarugados, á pesar de que, por el exceso de riegos, resbalan con frecuencia las caballerías, y de que sin duda por defectos de construcción ó conservación en algunas calles, en especial en la del Barquillo, se ha deformado mucho la superficie, produciéndose numerosos baches (2).

Una de las diferentes modificaciones ensayadas en el procedimiento que se ha descrito, se debe al Sr. Henson, de Inglaterra, y consiste en disponer una capa de fieltro alquitranado entre el hormigón y los tarugos, así como entre las filas transversales de éstos, con objeto de aumentar la elasticidad, pues se cree que el lecho de hormigón ofrece rigidez excesiva (3). El sistema se adoptó en Bilbao y duró el firme cuatro años en perfecto estado; pero después empezaron á podrirse los prismas, atribuyéndolo á la mala calidad del pino empleado en algunos y á la mucha humedad del país. Sea como quiera, el sistema no debe ser recomendable, bajo el aspecto higiénico, porque, á pesar de la empegadura, el fieltro acabará por humedecerse y añadir sustancias putrefactivas á las que naturalmente absorben los prismas, y que son la causa de las censuras que los higienistas dirigen á los pavimentos de madera.

PAVIMENTOS DE TARUGOS IRREGULARES.—El sistema que se va á describir, se empezó á emplear en Italia hará unos tres años, y se ha ensayado muy recientemente en París y Barcelona, aplicándolo en esta última población á la calle de la Princesa y plaza de Cataluña. Consiste, en principio, en yuxtaponer tronquitos de roble cortados en trozos de unos 0^m, 10 y descortezados, semejantes en su sección á los que se usan en la alimentación de chimeneas, suprimiendo además toda empegadura.

(1) Véase la obra citada en la nota anterior.

(2) Al corregir estas líneas (Marzo de 1892), se ha empezado á reparar el pavimento de la calle del Barquillo.

(3) Otras muchas innovaciones, más ó menos ingeniosas, se describen en la obra citada del Sr. Percy Boulnois.

Después de abrir y perfilar la caja, se extiende en su fondo un lecho de grava gruesa de 0^m,10 á 0^m,12 de espesor, cuya superficie se iguala con arena fina. Se colocan encima los trozos de madera con las fibras verticales y sin apretarlos demasiado, rellenando también los intervalos con arena; se riega y apisona todo el macizo, repitiendo varias veces las operaciones: al cabo de un par de días, el agua ha empapado los tarugos de roble, que al hincharse constituyen, en sentir de los partidarios del procedimiento, una masa compacta y homogénea, propia para soportar las cargas más pesadas.

No cabe duda de que los gastos de instalación serán pequeños y que, bajo este aspecto, el firme lleva mucha ventaja á los entarugados ordinarios; también es cierto que los reparos se simplifican notablemente, y que los resbalones de las caballerías se producirán con poca frecuencia, por los apoyos que á sus cascos ofrecen las uniones de tarugos de sección casi circular; pero á pesar de todo, es dudoso que los pavimentos presenten resistencia para el tránsito de vehículos pesados, que sean todo lo homogéneos que conviene y, por último, que no se pudran pronto los tarugos, que se hallan en disposición bien poco á propósito para conservarse, pues que la evaporación rápida, á consecuencia de la acción de los rayos solares, del líquido que los empapa, produce siempre en las maderas efectos muy perniciosos.

Sin embargo, nada debe asegurarse, mientras la experiencia no dicte su fallo: sólo se añadirá que, según informes fidedignos, al poco tiempo de abrir al servicio público en Barcelana las vías que se expresaron, aparecieron en la superficie del suelo multitud de depresiones que, aunque no profundas, vienen á confirmar los temores señalados.

VI.—FIRMES ASFÁLTICOS.

Los firmes asfálticos tienen hoy grandísima importancia en Europa y América, aunque en nuestro país apenas se han ensayado. Procede estudiar con alguna detención los de *asfalto comprimido*, que son los de mayores aplicaciones; dar idea de los formados por *prismas* del mismo material, que están muy de moda

en los Estados Unidos, y consagrar brevísimas palabras á los de *betún asfáltico*, que si bien en pocas, se han usado en ciertas ocasiones. Se comenzará por estos últimos.

Firmes de betún asfáltico.—El betún asfáltico, cuya composición y preparación son bien conocidas (1), se aplica con mucha frecuencia á las aceras; pero es raro utilizarlo para firmes de vías, porque no tiene la suficiente resistencia á las presiones ejercidas por vehículos de carga, y sólo es aceptable para calles de muy poco tránsito, según se dedujo de las pruebas hechas en París hace cincuenta años. Sin embargo, en Lyon existen, ó por lo menos existían en 1873 (2), 10.000 metros cuadrados de pavimentos de esta clase, formados por una capa de 0^m,05 de grueso, constituida por tres partes en volumen de betún y dos de gravilla, la cual capa se asentaba sobre un lecho de hormigón de 0^m,10 de profundidad. Aunque en el caso especial que se cita se obtuviera buen resultado, es lo cierto que el sistema no ha prevalecido.

Tanto por esta razón, cuanto porque el empleo del betún se hace de manera análoga á la que se explicará al tratar de aceras, en el artículo siguiente, no hay para qué insistir en este punto.

Firmes de asfalto comprimido.—DESCRIPCIÓN.—Muchos experimentos se han hecho desde 1837 para aplicar, en una ú otra forma, el asfalto, y en general las substancias bituminosas, á los firmes de vías urbanas. Aparte del sistema indicado en el párrafo que precede, se intentó hacer adoquines artificiales, aglomerando cantos con betún asfáltico, y rellenando las uniones con esta misma substancia. Se ha probado también construir los firmes extendiendo en la caja una mezcla de piedra partida y betún; mezcla que se preparaba secando primero la piedra por la acción del fuego, agregando luego la substancia bituminosa caliente y removiendo las materias hasta que cada canto quedase envuelto y aun impregnado de betún. Este método, que da buen resultado en algunas poblaciones inglesas, cuyas calles están sometidas á tránsito poco activo, se ensayó también en Bilbao hace pocos años, empleando, en lugar del producto asfáltico, alquitrán mineral de la fábrica

(1) *Materiales de Construcción*, 2.^a edición, págs. 180 á 187.

(2) Debauve, *Routes*.

del gas: obtúvose un pavimento más duradero que el ordinario, suave para la tracción y de poco polvo y barro. Quizá ayuden en la Gran Bretaña y en Vizcaya las condiciones climatológicas, porque en casi todos los puntos de Francia en que se ha usado el betún, en condiciones parecidas, se pulverizaba en invierno y se hacía muy pastoso en verano, dificultando la tracción.

Hacia 1850 se hicieron en Londres las primeras tentativas para afirmar calles con asfalto comprimido; cuatro años después en París, por los Ingenieros Homberg y Vaudrey, y desde entonces han adquirido estos pavimentos extensión considerable en las poblaciones más importantes del mundo. En las dos capitales citadas, en Berlín, en Nueva York, en Washington, en localidades de climas bien distintos, producen excelentes resultados, y los pocos fracasos ocurridos se explican por mala ejecución ó materiales inadecuados. En Berlín se han propagado en tales términos, que contando en 1876 sólo con 10.000 metros cuadrados de vías asfaltadas, llegaba el área en 1884 á 320.000 (1).

El fundamento de los firmes de asfalto comprimido estriba en reconstituir la roca primitiva, después de haberla desagregado y extendido sobre un suelo resistente. La invención del sistema fué casual: las carretas que transportaban la piedra de las canteras de Seyssel á las fábricas de tortas bituminosas, dejaban caer fragmentos en el camino, los cuales, al calentarse por el sol, crepitan espontáneamente, y al comprimirse poco á poco el polvillo por la acción de las ruedas de los vehículos, se formaba una costra sólida, que no difería en esencia de la que hoy se establece en calles de primer orden. El Ingeniero suizo Sr. Mérian aprovechó la lección y construyó en 1849 un firme asfáltico en la carretera cantonal de Val-de-Travers.

La capa bituminosa ha de asentarse en base sólida, que es, por lo común, un lecho de hormigón de cemento de Portland, análogo en un todo al que se describió al hablar de los entarugados que se construyen en la actualidad en Madrid y otras capitales. Pero la cimentación puede asimismo ser un firme ordinario de piedra machacada, de superficie tersa y cubierto con una película de mortero

(1) Malo, *Rapport à la Société d'Ingénieurs Civils*.

de cemento; ó bien un adoquinado cuyas juntas se llenen de argamasa en los 2 ó 3 centímetros superiores, cubriéndolo asimismo con aquella mezcla.

VENTAJAS É INCONVENIENTES.—Antes de entrar en algunos pormenores de construcción, se señalarán los principales inconvenientes y ventajas del asfalto comprimido. Figuran entre aquéllos:

1.º Los firmes resultan, como los entarugados, muy resbaladizos, si bien no ofrecen temor de ninguna especie cuando las rasantes no tienen inclinación superior al 2 por 100, sobre todo si se limpian bien en todas las estaciones y se enarenan en épocas de heladas y de barro pegajosos.

2.º En el coeficiente de tracción, ó sea en la relación del esfuerzo á la carga arrastrada, tienen más influencia las variaciones termométricas que en los firmes de piedra partida, adoquines ó tarugos. En tiempo muy frío el betún se endurece y el tiro se efectúa con tanta facilidad como en un enlosado; en cambio, durante los fuertes calores de verano, la masa se hace algo pastosa y la tracción puede compararse á la que requiere el macadam. Este defecto no tiene la importancia que generalmente se le atribuye: es opinión muy común que en Madrid, por ejemplo, no puede pensarse en asfaltar las calles, porque la superficie se pondría tan blanda en el estío, que sería imposible el tránsito de vehículos. Á esta objeción se responde con un hecho que no admite réplica: en Nueva York, cuyo clima es de los más duros en las estaciones extremas, el asfalto da admirable resultado, aun en épocas calurosas, siempre que se prepare convenientemente. Muy pronto se puntualizará un caso que no deja lugar á la menor duda.

3.º La experiencia demuestra que para que el asfalto se ligue bien con el cimientó, es indispensable que éste se halle perfectamente seco, de suerte que ni las construcciones ni los reparos pueden efectuarse en condiciones adecuadas, en épocas de lluvia ó humedad. Claro es que respecto de las obras nuevas la dificultad desaparece, porque nada obliga á que se emprendan en tiempo poco á propósito; mas no sucede lo mismo con los trabajos de conservación, cuyo retraso produce funestos resultados, á causa de la entidad que adquieren los desperfectos y de las molestias que

mientras tanto ocasionan al público. Claro es que tomando precauciones especiales, como la de operar á cubierto y ejercer vigilancia incesante, sería factible vencer las dificultades; pero en la práctica no es sencilla la observancia de reglas minuciosas que, por otra parte, ocasionan siempre dispendios considerables.

4.º El establecimiento de firmes asfálticos no es prudente cuando las canalizaciones urbanas, sobre todo la de gas, van por el centro de la calle. Además de los obstáculos que se indicaron en el artículo relativo á entarugados, se presenta otro en el caso actual. Las fugas no se advierten en seguida; el fluido acaba siempre por llegar al asfalto, y le hace experimentar una alteración, que se va propagando hasta la superficie, y cuyo efecto es reblandecer el betún, hasta el punto de no resistir á las acciones de las ruedas y de los cascos de las caballerías.

5.º Es sabido que la mayor parte de los medios que se han intentado para preparar asfaltos artificiales, impregnando de betún las calizas, han fracasado, porque los productos están lejos de reunir las propiedades que caracterizan á los extraídos de canteras. Para asegurar buen éxito es conveniente que la base de las mezclas sean asfaltos naturales; y como las formaciones geológicas que los suministran son escasas, se comprende que si continúa extendiéndose su aplicación á afirmados, subirá el precio, crecido ya de suyo, hasta hacerlos económicamente inaceptables. No obstante, hay que reconocer que en estos últimos tiempos ha adelantado algo la industria, en especial en América, gracias á reemplazar la caliza con arena, y á introducir en el amasijo aceites pesados, como se indicará en este mismo artículo.

El coste de los firmes bituminosos, la limitación de pendientes que requieren, y los utensilios que se usan en la construcción y reparos, justifican que no deba pensarse en asfaltar las carreteras propiamente dichas, reservando para calles este género de pavimento.

Enfrente de las dificultades y defectos que se han puntualizado, el asfalto comprimido goza de cualidades excelentes, que explican el gran desarrollo que van adquiriendo los firmes de aquel material en la vialidad urbana. Éstos, lo propio que los entarugados, requieren poca tracción en casi todos los días del año; amortiguan

el ruido y las vibraciones, y reúnen condiciones aceptables siempre que las pendientes no sean superiores al 2 por 100, conforme se indicó, y que el tránsito de carros y carretas no pase de los límites ordinarios en calles frecuentadas: para circulaciones excesivas, como la que se verifica en algún trozo de Broadway, en Nueva York, en que por cada sección transversal pasan diariamente de 12 á 14.000 vehículos de todas clases, se echa de ver desde luego que convendrá adoptar pavimentos algo rugosos y que presenten numerosas juntas para evitar resbalones, pues en esas vías excepcionales, en las cuales es imposible mantener seca la superficie, que se moja continuamente con la orina de los motores, el asfalto daría lugar á repetidos deslizamientos.

Pero aparte de las ventajas comunes á los firmes que se estudian y á los entarugados, poseen aquéllos otras especiales, sobre las que conviene llamar la atención. Son las siguientes:

1.^a Los firmes asfálticos tienen mucha resistencia. Cita Gillmore el caso notable de haber pasado en la última semana de Junio, por el asfalto de la 5.^a avenida en Nueva York, un camión de 3 toneladas de peso, cargado con una caldera que pesaba 21, sin dejar el menor surco: prueba este hecho, no sólo las presiones considerables que estos pavimentos pueden soportar, sino que la substancia bituminosa no se había reblandecido á consecuencia del calor. Punto es éste del mayor interés, á que se consagrarán pronto algunos renglones.

2.^a El desgaste de la capa asfáltica es casi insignificante, con la circunstancia de que á medida que disminuye el espesor, aumenta el peso específico, ó lo que es lo mismo, el tránsito va comprimiendo más y más el afirmado. En Londres se ha comprobado, en una calle de las de mayor movimiento, que al cabo de cuatro años el grueso del asfalto se había reducido en $\frac{1}{10}$, creciendo en la misma relación el peso de la unidad de volumen. En la calle Bergère, en París, en quince años, el espesor menguó 12,5 por 100, mientras que el peso absoluto tan sólo 5 por 100.

3.^a Los pavimentos asfálticos no producen polvo y, por consiguiente, tampoco barro. Por lo demás, se limpian con mucha más facilidad que los adoquinados y entarugados, entre otras causas, por carecer de juntas.

4.* La misma ausencia de uniones y la impermeabilidad de la capa, impiden la absorción de sustancias que por su fermentación den lugar á emanaciones deletéreas. Desde el punto de vista de salubridad, están contestes los higienistas en colocar en primer lugar á los firmes de asfalto comprimido; en segundo á los de adoquines, y en tercero á los de tarugos.

La lectura atenta de cuanto precede habrá llevado al ánimo el convencimiento de que, en el estado actual, no hay más soluciones para afirmados de carretera que los de piedra partida ó los empedrados, siendo, por lo común, preferibles aquéllos. En vías urbanas cabe elegir entre los mismos dos sistemas, los entarugados y el asfalto comprimido: cada uno tiene ventajas é inconvenientes que habrán de pesarse antes de adoptar solución definitiva; en una misma población, es seguro que no convendrá idéntica clase de firme para todas sus calles, y habrá que practicar ensayos, pues, por desgracia, el problema de la vialidad urbana está lejos aún de hallarse resuelto. No hay para qué decir que en la elección que se haga entrará como factor importante la economía, asunto sobre el cual nada puede precisarse, pues que las circunstancias locales tendrán influencia decisiva (1). En los renglones anteriores nada se dice acerca de los resultados de algunos firmes, como los de ladrillos embetunados, que ya se han descrito, y los de adoquines asfálticos artificiales, que pronto se reseñarán, porque son demasiado modernos para que se puedan aducir datos experimentales.

EJECUCIÓN DE LOS FIRMES DE ASFALTO COMPRIMIDO.—En ge-

(1) Es curiosa la estadística de pavimentos usados en París, que se estampa á continuación tomándola de la Memoria ya citada del Sr. Brown Vibert, y advirtiendo que los datos se refieren á 31 de Diciembre de 1891:

	Metros cuadrados.
Adoquines	6.300.000
Macadam	1.560.000
Entarugados	540.000
Asfalto comprimido	300.000
TOTAL	8.700.000

neral se cimientan sobre un lecho de hormigón hidráulico, que se construye lo mismo que el de los entarugados, cuidando de que la capa de mortero que lo cubre afecte con exactitud el perfil que haya de darse al firme. Si el subsuelo es resistente, suele tener el nuégado 0^m,15 de grueso, y casi nunca pasa de 0^m,25 si el terreno natural es húmedo ó arcilloso. En cuanto á las dosis de los ingredientes, son adecuadas las que se expresaron al hablar de los firmes de madera, aunque á veces, sobre todo en los Estados Unidos, se usa una mezcla de cal ordinaria y cemento, en lugar del Portland. Es requisito primordial que la capa bituminosa se asiente en cimiento sólido y perfectamente seco: si al extender el asfalto está húmedo el hormigón, se vaporiza el agua, abriéndose paso á través del betún, que se llena de grietecillas, dando aspecto de mosaico á la superficie, y el paso de los vehículos, lejos de hacer que se suelden las partículas, aplasta y desagrega la masa. Á fin de que no se produzcan efectos análogos, es preciso también que el cimiento no presente depresión alguna y que ofrezca bastante resistencia para conservarse terso y perfilado, bajo la acción de las cargas más pesadas que se arrastren por la vía.

En París se usa con gran éxito para formar la costra superficial el asfalto de Seyssel: los panes se parten en cilindros acanalados, pulverizándose después los fragmentos en un triturador de Carr, compuesto de cuatro linternas. Mas hay que advertir que un asfalto que dé excelentes resultados en una localidad, podrá ser detestable en otra de condiciones climatológicas distintas. Los Ingenieros norteamericanos admiten que los betunes están constituidos por dos principios inmediatos, la *petrolina* y la *asfaltina*, que es necesario estén en proporción determinada para que la substancia no se ablande por el calor ni se haga quebradiza en épocas de grandes fríos; un exceso de petrolina produce el primer efecto, y el segundo se debe á preponderancia de asfaltina. Fundados en esta teoría, más ó menos exacta, pero que parece confirmada por la práctica, mezclan en proporciones variables para cada caso, y á temperatura de 120 á 140° centígrados, betunes naturales de Trinidad, Cuba, Canadá ú otras procedencias, con aceites pesados de petróleo ó residuos del refino y con arena muy fina, que contenga cerca del 50 por 100 de carbonato cálcico, logran-

do así formar asfaltos artificiales á propósito y en armonía con las condiciones especiales de la localidad. Así se explica que modificado el asfalto de Seyssel, no se ablande en Nueva York ni en Boston durante los fuertes calores estivales (1), y se demuestra que hay que acudir á ensayos directos para la elección de pasta bituminosa.

Sea como quiera, el polvillo asfáltico se lleva á un tostador cilíndrico, horizontal y giratorio, de unas $3\frac{1}{2}$ toneladas de cabida, que se asemeja en su forma y disposición á las vasijas que se usan para tostar café. El combustible es carbón mineral, y en la torrefacción se invierte hora y cuarto, conduciendo en seguida la pasta en vehículos especiales al sitio en que se ha de emplear. En el trayecto apenas se enfría, gracias á su poca conductibilidad.

Sobre el cimientto se extiende la capa de asfalto, dándole espesor constante que oscila entre $0^m,04$ y $0^m,075$, según los casos, y atendiendo, en especial, á la entidad y naturaleza del tráfico. Procede advertir que los guarismos señalados se refieren al grueso con que ha de quedar la capa después de comprimida, y que hay que aumentarlos en cosa del 40 por 100 al efectuar la extensión.

Se acostumbra echar el asfalto por fajas de $1^m,20$ á $1^m,80$ de anchura, que ocupan todo el perfil transversal del firme, cuidando de cortar el extremo de cada uno como indica la figura 58.^a, que representa una sección en sentido del eje, con objeto de que liguen bien dos fajas consecutivas. Si por cualquier causa se enfríase el reborde de la porción extendida, antes de aplicar la inmediata, se embetuna aquél con una brocha.

La extensión se verifica con palas ó rastras de hierro, y la compresión con pisones, también metálicos, de sección circular, cuadrada ó rectangular, como el que se dibuja en la figura 59.^a, de 7 ú 8 kilogramos de peso: los golpes se dan con suavidad al principio, aumentando gradualmente la energía. Termínase de consolidar el pavimento con un alisador de hierro, que pesa unos 17 kilogramos, y que va provisto de un mango inclinado (figura

(1) Para mayores detalles y explicación de los procedimientos, véase la obra citada de Gillmore.

60.^a). Todos los utensilios se calientan para que el asfalto no se enfríe.

Es práctica corriente en Francia é Inglaterra, después de apisonar y antes de la alisadura, pasar uno ó más rodillos pequeños de 250 á 500 kilogramos, comenzando por los menos y concluyendo por los más pesados. Gillmore ataca al sistema fundándose en que el asfalto, si está aún correoso, se levanta por delante de los cilindros, y si se ha enfriado algo puede arrancarse la chapa.

Cuando la superficie está ya casi fría y bien alisada, se pasa un doble rodillo de hierro colado, de 1^m,50 de diámetro, é inmediatamente se enarena y abre al tránsito público.

REPAROS.—Son muy fáciles de ejecutar y queda la superficie con gran regularidad, siempre que se lleven á cabo en tiempo seco: basta recortar con una hacha pequeña los bordes de la depresión; extraer la parte de substancia bituminosa que limitan (la cual puede aprovecharse, si no se ha alterado, en preparaciones ulteriores), y aplicar la nueva, siguiendo las reglas establecidas en los párrafos que anteceden. Lo que no se ha logrado hasta ahora es poder recargar directamente los baches, porque el polvo asfáltico en capa demasiado tenue no conserva bastante calor para soldarse al betún ya comprimido (1).

Pavimentos de prismas asfálticos (2).—Conservar las ventajas de los firmes de asfalto comprimido, disminuyendo á la vez los inconvenientes que presenta la tersura de la superficie para su aplicación á tramos algo inclinados y para el movimiento de las caballerías, es problema que se estudia hace tiempo y que parece se está en camino de resolver. El principio es lógico á la par que sencillo: en lugar de echar la capa bituminosa y comprimirla después, empiécese por moldear prismas asfálticos, sométanse á la presión que se juzgue oportuna y asiéntense luego sobre la base de hormigón, del mismo modo que se colocan los adoquines comunes, rellenando las uniones con pasta bituminosa. De este modo se logrará que, á causa de las juntas, agarren bien los cascos de los animales, y que el pavimento, sin perder la im-

(1) *Memoria* de Homberg.

(2) Gillmore, obra citada.

permeabilidad, resulte más homogéneo y comprimido, pues que los prismas se han preparado con presiones más enérgicas y mejor repartidas que las que actúan en los firmes asfaltados comunes. Tal es en suma, el procedimiento que se sigue hace pocos años y con muy buen éxito, al parecer, en San Francisco de California.

Fabrécase allí la pasta con betún de Trinidad (1), aceites densos y caliza ó escorias en polvo; pero claro es que nada impediría usar el asfalto de Seyssel ó cualquier otra caliza ó esquisto bituminoso. Los prismas tienen 0^m,30 de longitud y sección cuadrada de 0^m,10 á 0^m,125 de lado, y se asientan como los tarugos, sobre un cimientó sólido de hormigón, piedra partida ó adoquinado, idéntico al que se emplea para el asfalto comprimido, cuidando de llenar las juntas con la misma pasta de que se construyen los prismas. Éstos reciben la presión de una tonelada por pulgada cuadrada (próximamente 160 kilogramos por centímetro cuadrado), aplicándola á la cara menor.

Cuando están recién colocados los adoquines, las juntas son tan estrechas que la superficie no es menos lisa que la de los pavimentos asfálticos ordinarios: al poco tiempo, la acción del tráfico las ensancha algún tanto, y permiten que los motores se muevan sin temor á resbalones. Cuerda es la observación de Gillmore de que podía realizarse desde el principio esta ventaja, achaflando ligeramente las aristas superiores de los prismas.

Otra ventaja propia del sistema que se examina es que no sólo se simplifican los trabajos de reparación, sino que los adoquines que se extraigan por haberse deformado pueden recrecerse aglutinando pasta nueva y volverse á usar en el mismo ú otro firme.

No obstante lo expuesto y lo racional del método, hay que aguardar á conocer los resultados prácticos de los ensayos que se efectúan en los Estados Unidos.

(1) *Materiales de construcción*, 2.^a edición, pág. 186.

VII.—ANDENES Y ACERAS.

Andenes.—Nada hay que decir respecto á los paseos de las carreteras, que sólo se acostumbra cubrir con una capa de recebo. Los andenes elevados, conforme se dijo al describir las obras de tierra, se mejoran para el tránsito de peatones dejando crecer la hierba ó extendiendo sobre ellos cascajo ó gravilla. Pero á veces se perfeccionan más aún, ya echando piedra partida en un espesor que no excede de 0^m,08 á 0^m,10, ya empedrándolos con cuñas ó adoquines de desecho, ya enlosándolos y convirtiéndolos en aceras. De lo que debe cuidarse es de proteger el borde interior de los andenes contra la acción de las ruedas y de las aguas, cuando éstas corren por regueros laterales como en las calles: al efecto, se establece una fila de maestras, constituídas por adoquines usados ó pedruscos, ó en último término por piedras irregulares, si bien presentan éstas el inconveniente de su poca fijeza.

Aceras.—Llámanse así los pasos para peatones, elevados sobre el resto del piso, cubiertos de muy diversas maneras, y que se construyen en calles, plazas, paseos, etc. Conócense desde muy antiguo, como lo comprueban las ruinas de Pompeya y de Numancia, en las que se ven contenidos en su perímetro por cintas de sillares, acunados á trechos por otros más elevados, que, según algunos escritores, se destinaban á servir de apeaderos ó estribos á los jinetes (1).

Lo más común hoy en las principales poblaciones del mundo es cubrir las aceras con losas, betún asfáltico ó mortero de cemento; pero se usan á veces morrillos, pastas cerámicas y madera. Sea cual fuere el método que se siga, se da á las aceras una altura de 0^m,08 á 0^m,15 sobre los regueros ó arroyos, para que no las invadan los vehículos, y una inclinación hacia aquéllos de 3 á 5 por 100, á fin de que las aguas que caen sobre las mismas y las que recogen de los edificios contiguos tengan fácil salida. No estará de más observar que si el afirmado para vehículos es de

(1) Clairac, *Diccionario de Arquitectura é Ingeniería* (tomo I: Madrid, 1877).

pedra machacada, se acostumbra adoquinar ó acuñar los regueros para evitar desperfectos ocasionados por la corriente.

El ancho de las aceras depende del de la calle y del movimiento relativo de carruajes y gente de á pie: como mínimo, debería ser igual al necesario para que se crucen dos personas, próximamente un metro. Sin embargo, en calles muy estrechas, como muchas de Génova, Sevilla, Granada, Córdoba, etc., para no citar más que ciudades importantes, es de todo punto imposible llegar á dicha dimensión.

ACERAS ENLOSADAS.—Están formadas por una cinta de adoquines ó losas puestas de canto, que enrasan con el pavimento y quedan á la altura conveniente sobre el arroyo. Es frecuente que las piedras del encintado tengan la forma de paralelepípedos rectos de base rectangular; pero también se les da talud hacia el exterior, como indica la figura 61.^a, para evitar que las ruedas de los vehículos las desportillen y que el arroyo tenga demasiada extensión. Cuando el terreno natural es malo, las cintas se asientan en un cimientado de arena, piedra en seco, mampostería ú hormigón, de 0^m,30 á 0^m,50 de anchura, y que baja hasta alcanzar suelo bastante resistente. Otras veces se hace que las aguas corran por debajo de las maestras, labrándolas con forma adecuada (figura 62.^a).

La acera propiamente dicha se cubre con losas de 0^m,10 á 0^m,15 de grueso, asentadas y acuñadas sobre una capa de mortero de 0^m,03 á 0^m,05, que se tiende en el fondo apisonado de la caja abierta en el suelo, si éste es sólido. En caso contrario, se establece un cimientado de arena como el de los adoquinados, ó mejor aún, un macizo de hormigón de 0^m,10 de espesor. Las juntas superficiales, que deben ser muy delgadas, se toman con argamasa hidráulica.

Según la importancia de la vía, se desbastan las losas, se labran toscamente ó se cincelan.

La piedra natural ó artificial empleada en estos enlosados, ha de ser bastante dura para no pulimentarse por el roce: la mayor parte de las rocas calizas tienen este defecto, lo que obliga á estriarlas, de no ser posible reemplazarlas con otras de mejor calidad.

En Madrid, aunque suelen usarse losas artificiales silicatadas, lo común es adoptar el granito de Guadarrama, mucho más á propósito para el paso de peatones que para el de vehículos. Los adoquines para encintar deben tener un metro de longitud mínima, 0^m,28 de tizón y anchura de 0^m,30 ó 0^m,14, según los casos, aun cuando el último guarismo es el que corresponde al tipo corriente. Las losas miden de 0^m,80 á 0^m,84 y de 0^m,50 á 0^m,60 en los dos lados visibles, y 0^m,10 de grueso.

Las aceras enlosadas son las más antiguas y en suma las mejores, si razones económicas no inducen á prescindir de la piedra. Y tan es así, que cuando el material natural es muy caro, la primera solución que ocurre es sustituirlo por otro artificial de condiciones análogas. En Bilbao se han empleado losetas de mortero de cemento de Portland, preparadas en la fábrica *La Progresiva* de la misma población: tienen color gris azulado ó amarillento y su sección presenta dibujos en cuadros de unos 0^m,08 de lado, separados por canales para el paso de las aguas. El pavimento es muy resbaladizo, si no se gradúa bien la cantidad de arena que ha de encerrar la masa.

ACERAS ASFALTADAS.—Las aceras asfaltadas se separan de los regueros con una cinta de adoquines, dispuesta de idéntico modo que cuando limita losas. Después de apisonar el fondo de la caja, se echa una capa de hormigón de 0^m,05 á 0^m,10, según la consistencia del terreno, cuidando de que la cal esté perfectamente apagada para evitar la formación de ampollas en la superficie del asfalto: sobre el nuégado se tiende un enlucido de mortero hidráulico de 0^m,01 por lo menos de espesor, y encima va el betún asfáltico mezclado con gravilla, al que se da de 0^m,015 á 0^m,025 de grueso. Nada hay que decir respecto al modo de preparar el betún (1); la gravilla tiene por objeto, no sólo disminuir el coste, sino atenuar la pastosidad del betún por la acción del calor. En las localidades en que éste sea intenso, hay que forzar la cantidad de piedra; el mal éxito de estos pavimentos en ciertas poblaciones, y entre ellas Madrid, débese sin duda á no haber graduado bien las dosis de ingredientes: basta consignar que en Sevilla han dado re-

(1) *Materiales de construcción*, 2.^a edición, pág. 185.

sultado aceptable á pesar del clima. La composición de la masa que se usa en París es la siguiente, por metro cuadrado de acera (1):

Betún asfáltico de Seyssel.....	23 kilogramos.
Gravilla.....	15 —
Betún libre.....	1,50 —

En una caldera especial y al pie de obra, se echa el betún libre, que facilita la fusión y que reemplaza además los aceites perdidos por evaporación; cuando se ha derretido, se añaden las tortas asfálticas que correspondan, partidas en 8 ó 10 pedazos, y se prolonga la acción del fuego hasta que toda la pasta esté fluida. Agrégase en seguida la piedra, en pequeñas cantidades, batiendo la mezcla, de suerte que todos los granos queden impregnados y envueltos por el asfalto, pudiendo entonces procederse á tender la capa, siempre que esté perfectamente seca la base de hormigón. Al efecto, un peón vierte la masa sobre aquél, valiéndose de un cazo, y otro operario la aplica y extiende con una espátula lisa, cuidando de que el espesor de la costra sea uniforme y de trabajar con suficiente rapidez para que no se enfríe el betún antes de laminarlo: para estas maniobras se necesitan oficiales prácticos é inteligentes.

Además del piso igual y agradable, las aceras asfaltadas tienen la ventaja de lo mucho que duran, á consecuencia de la lentitud con que se desgastan: de los ensayos hechos en Lyon resulta que, por término medio, resisten veinte años, cuando la capa es de 0^m,022 de grueso; pero claro es que nada puede precisarse, porque la duración ha de depender de circunstancias locales y de la entidad del tránsito. Parece que las aceras no exigen que se cubran con betún nuevo hasta que el grueso del primitivo se haya reducido á 3 ó 4 milímetros.

En cuanto á inconvenientes, aparte de lo correoso que el calor pone al asfalto, si no se ha proporcionado bien la cantidad de gravilla, hay que señalar las dificultades que ofrecen los reparos de cañerías cuando las canalizaciones van por debajo del pavimento.

(1) *Memoria de Malo.*

á causa de que éste forma superficie continua y es forzoso cortar un trozo más ó menos largo y reponer el betún, instalando al costado las calderas, con las molestias que son consiguientes para vecinos y transeuntes.

Los suelos bituminosos se aplican ventajosamente á almacenes y depósitos, mercados, claustros y galerías de planta baja, etc., desapareciendo entonces los defectos apuntados.

Hasta hace muy poco tiempo sólo se han empleado asfaltos naturales en la preparación del betún para aceras; pero comienzan ya á usarse, sobre todo en América, los artificiales, fabricados con arreglo á los principios que se expusieron en el artículo anterior.

ACERAS DE MORTERO DE CEMENTO.—Se ensayó para afirmar vías destinadas al paso de vehículos, un macizo de hormigón, cubierto por una capa de mortero; pero la experiencia demostró pronto, y en Madrid se comprobó en un trozo de la calle del Príncipe, que el suelo era demasiado liso y continuas, por tanto, las caídas de los caballos, á pesar de la imperceptible pendiente de la rasante. Este sistema, desterrado ya para el tránsito de carruajes, se halla bastante extendido para el de peatones por calles y paseos: cierto es que aun para aquéllos resulta resbaladizo; pero desaparece ese defecto estriándolo, de manera que las líneas semejen uniones de baldosas.

En la caja se construye un cimientó de hormigón hidráulico, de 0^m,08 á 0^m,10 de grueso, cuyo mortero se compone, por lo común, de cal del Teil y cemento de Portland: sobre esta base extiéndese una capa de mortero, formado de los mismos ingredientes que entran en el del hormigón, habiendo producido muy buenos resultados las proporciones de una parte en volumen de cal apagada en polvo, $\frac{3}{4}$ de cemento y 4 de arena fina y limpia. El grueso de la argamasa viene á ser de 0^m,01 á 0^m,015, cuando se ha comprimido suavemente con pisonés de calzos de hierro. Antes de que se haya endurecido demasiado se trazan juntas á mano, sirviéndose de reglas y marcadores de hierro, después de haber impreso en la masa, plástica todavía, los puntos salientes de un rodillo, que se pasa por encima: todo ello tiene por objeto aumentar los roces y facilitar el paso de la gente. Debe recordarse que el Portland se dilata sensiblemente por la acción del calor, pro-

duciéndose resquebraduras perjudiciales para la buena conservación del piso: para evitarlas conviene dejar huelgos, lo cual es fácil, pues todo se reduce á colocar de trecho en trecho juntas verdaderas, que no se distinguen á simple vista de las figuradas.

Terminada la obra, se cubre su superficie con arena ú otra substancia que la resguarde del sol y evite un endurecimiento excesivamente rápido: en esas condiciones debe permanecer á lo menos diez días, y antes de permitir el tránsito por el pavimento conviene extender una capa de arena, que no se retira hasta que transcurran dos ó tres semanas. Al cabo de un mes, contado desde que se extendió el mortero, la pasta tiene ya la mitad de la resistencia y dureza definitivas, y puede transitarse por la superficie sin temor á desperfectos. Por el sistema que se acaba de reseñar se construyó en Madrid, en 1891, la acera de uno de los costados del paseo de Recoletos.

Los suelos de argamasa así dispuestos, ofrecen el inconveniente, común á todos los formados por superficies continuas, de hacer penosos los reparos de las tuberías que vayan por debajo. Se pueden seguir dos métodos para aminorarlo. Consiste uno de ellos en vaciar el mortero entre listones de madera, cuyas aristas superiores estén exactamente á la misma altura á que haya de quedar la mezcla: el primer día sólo se llenan casillas alternadas, y al segundo las restantes, á fin de que la masa de aquéllas esté bastante dura para que no las perjudique el apisonamiento de la de las contiguas. Es oportuno untar con yeso ó aceite los bordes de los rectángulos que se preparan al principio, para impedir adherencias. De este modo, el suelo se compone en realidad de varias piezas independientes, siendo posible levantar las que se necesite para dar cima á trabajos de reparación, bien del mismo pavimento ó de las canalizaciones subterráneas.

Es más radical y seguro el sistema de fabricar losetas de cemento y asentarlas como las ordinarias: entonces el pavimento no es más que un enlosado de piedras artificiales, de que ya se trató en la página 149.

ACERAS DE MORRILLO Y DE MOSAICO.—Nada hay que añadir á lo dicho anteriormente, al describir los empedrados de morrillos.

ACERAS DE CERÁMICA.—Se consagrarán breves renglones á

las aceras de ladrillo y á las de baldosines de arcilla refractaria.

Las aceras de ladrillo son de escasa resistencia, y no conviene emplearlas más que para el servicio de propiedades particulares ó en calles de poco tránsito. Deben escogerse ladrillos recochos, que se colocan de canto y con sus aristas mayores perpendiculares ú oblicuas, con relación á la línea de fachada: se cogen las juntas con mortero, y se apoyan los prismas en un cimiento bien apisonado de gravilla ó arena, ó interponiendo á veces tablones creosotados, á fin de evitar asientos desiguales (1).

Existen fábricas de baldosines de arcilla refractaria, entre las que debe citarse la de Quaregnon (Bélgica), de la que provienen los que se usan en Bilbao. Son de aspecto y tamaño parecidos á los de cemento (pág. 149), y se colocan diagonalmente al eje de la acera. No se asientan con tanta exactitud como aquéllos, porque la contracción ocasionada por la cochura no es rigurosamente uniforme, y, por tanto, tampoco sus dimensiones; en cambio, la superficie algo rugosa da piso menos resbaladizo.

ACERAS DE MADERA.—Los entablonados que se adoptan en ciertas poblaciones de ambas Américas no deben recomendarse: la humedad los hincha y se producen alabeos que determinan roturas ó separación de piezas.

Mucho más á propósito son los entarugados construídos por los mismos métodos que los destinados al paso de vehículos, aunque disminuyendo el grueso de la cimentación, que no ha de pasar, si es de hormigón, de 0^m,08 á 0^m,10. Los encintados pueden construirse con adoquines, y también con tarugos de mayor tizón que los corrientes. El piso es suave y agradable para los peatones, desapareciendo casi todos los defectos que se le imputan cuando se destina á la tracción.

(1) Gillmore, obra citada

CAPÍTULO IV.

OBRAS ACCESORIAS.

CLASIFICACIÓN.

Ya se manifestó en la página 39 que las *obras accesorias* de una carretera, ó sean aquéllas de importancia secundaria que, por lo común, no pueden preverse en todos sus detalles, sino al tiempo de la ejecución, se destinan á dar seguridad ó comodidad á los transeuntes, á facilitar los servicios de construcción y conservación ó el acceso á las propiedades limítrofes, ó á contribuir al ornato en el interior ó proximidad de las poblaciones. Como quiera que algunas de ellas se construyen para satisfacer á la vez necesidades de varios géneros, no conviene agruparlas para el estudio, teniendo en cuenta la naturaleza de aquéllas, y resultará más clara la exposición dividiéndolas en *obras de tierra ó fábrica y arbolado*. Respecto á las primeras, bastarán indicaciones concisas. De algunos trabajos accesorios nada se dirá en este capítulo, por haber descrito sus condiciones y construcción al tratar de las obras á que se aplican: tales son los rastrillos y empedrados de cunetas.

I.—OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA.

Versará este artículo sobre zanjas ó cunetas de coronación; paranieves; rectificaciones y desvíos de cauces; caminos provisionales; rampas de servidumbre; cercas de heredades; pretilles, malecones y guardarruedas; postes indicadores; casillas de peones camineros, y pozos, fuentes y abrevaderos.

Cunetas de coronación.—Cuando la extensión de las vertientes, cuyas aguas han de caer por los taludes de un desmonte, es tan considerable que se tema puedan aquéllos experimentar daños de entidad y hasta obstruirse el camino con las tierras desmoronadas, se establece una zanja ó cuneta en la parte superior de la explanación, dándole dimensiones adecuadas al caudal que

haya de recoger, y trazándola de suerte que el desagüe á las depresiones ó arroyos cercanos se efectúe en buenas condiciones. Entre la cuneta y la arista superior del desmonte ha de quedar una banqueta ó berma de un metro, por lo menos, de ancho. Por lo común, y excepto en casos muy particulares, basta abrir la zanja en uno de los costados, y es frecuente prescindir de ella cuando se han depositado tierras en caballeros, pues entonces se disponen éstas de modo que sirvan de retención á las aguas.

Por razones análogas á las indicadas, se construyen á veces cunetas de defensa al pie de los taludes de los terraplenes, en las que se recogen las aguas que corren por la ladera, para evitar que arrastren las tierras.

Paranieves.—Son defensas que evitan que la nieve se acumule en ciertas trincheras. Consisten en una pantalla, que se coloca del lado del viento reinante, y á distancia variable entre 3 y 7 metros de la arista superior del desmonte. Su altura depende de las circunstancias locales, aunque de ordinario oscila entre 1^m,20 y 3 metros. Constrúyense de madera, faginas, setos vivos, tierra, piedra en seco ó mampostería (1).

Rectificaciones y desvíos de cauces.—Conviene ejecutarlos, ya para establecer sin oblicuidad una obra de arte, ya para salvar una corriente con la altura de rasante que convenga, ya á fin de evitar la construcción de obras con fuertes inclinaciones longitudinales, ya para el desagüe de las cunetas de la plataforma ó de las de coronación, ó con objetos diversos, según las circunstancias.

Camino provisionales.—Se construyen unas veces para facilitar el acarreo de materiales, y otras para no interrumpir el tránsito cuando la carretera ocupa trozos del camino antiguo. En ambos casos, se disponen las vías provisionales con la mayor economía posible; no se les da más anchura que la estrictamente necesaria para el cruce de vehículos; se fuerzan hasta donde sea dable las condiciones técnicas de pendientes y curvas; si es preciso construir firme, se limita á los pasos peligrosos, sin empeñarse en alcanzar una perfección que no estaría justificada, y, por último,

(1) Para más detalles, véase la obra citada de Cantalupi.

para obras de fábrica tienen aplicación ventajosa las de madera y los badenes. En ocasiones, bien sea por lo quebrado del terreno, el valor del mismo ú otras causas, la apertura de estos caminos es económicamente irrealizable: entonces hay que pasar por los inconvenientes, sensibles para el tráfico y para la construcción, de que el movimiento siga efectuándose por el carril antiguo, sin paralizar por eso los trabajos. Cuestión es ésta que dió y sigue dando origen á reclamaciones sin cuento de contratistas, en demanda de que se les indemnice de los perjuicios irrogados por el tránsito ó por la apertura de nuevos caminos: en los formularios que hoy rigen para la redacción de proyectos de carreteras, se ha resuelto la dificultad, prescribiendo que se asigne cantidadalzada por aquellos conceptos, la cual se abona íntegra, sean muchos ó pocos los trabajos ejecutados y grandes ó pequeños los daños que se ocasionen.

Caminos de servidumbre.—Son indispensables muy á menudo para dar paso desde la carretera á las propiedades limítrofes ó á los caminos que se crucen. Es oportuno establecerlos, siempre que sea factible, en las líneas de paso de desmonte á terraplén, porque así se logra á la par disminuir el coste y no causar perjuicios á la carretera. Si hay que hacerlos en desmontes ó terraplenes, se construyen en rampa más ó menos inclinada y formando el ángulo que convenga con el eje de la vía; pero cuidando siempre de no invadir ésta y de no obstruir el libre paso de las aguas. Todo ello se consigue con facilidad cuando la carretera va en terraplén; de lo contrario, hay que construir un caño ó tajea para que no se interrumpa la cuneta, y disponer los desagües de la rampa de suerte que no viertan en el firme ni en los paseos ó andenes. Cuestiones son que deben estudiarse escrupulosamente en cada caso, buscando la solución mejor, que no siempre es del todo satisfactoria.

Cercas de heredades.—Si algunas de las fincas que atraviesa la línea estaban cercadas antes de acometer la construcción, hay que dejarlas después en igual forma, disponiendo tapias ó vallados semejantes á los primitivos, á lo menos en todos los trozos en que el camino se adapte al terreno ó vaya en obra de tierra de escasa cota. También es frecuente establecer cercas al pie de los

terraplenes, aun cuando elevados, para demarcar la zona expropiada. Claro es que estas construcciones, á la vez que tienen por objeto respetar el derecho incuestionable de los terratenientes, evitan que los ganados ocupen la carretera.

La ejecución de cercas suele ser origen de discusiones con los propietarios: es más práctico, siempre que se pueda, incluir su coste en la valoración de daños y perjuicios, que forma parte integrante del expediente de expropiación: en tal caso, el dueño queda en libertad de cercar su finca cuando y como juzgue oportuno.

Pretiles, malecones y guardarruedas.—Constrúyense *pretiles* continuos ó interrumpidos en las coronaciones de muros de sostenimiento y de obras de fábrica para salvar corrientes ú otras vías: nada hay que añadir, respecto á su forma, dimensiones y materiales, á lo que se expuso en las páginas 56 y 57.

Se emplean asimismo pretiles en terraplenes elevados y en los situados en alineaciones curvas, aun cuando la cota no sea muy grande; mas por razones de economía suelen reemplazarse estos quitamiedos con *malecones* ó *caballeros* de tierra ó piedra, que es común afecten forma de troncos de pirámide cuadrangular, y que se cubren, á ser posible, con tepes. Los montones de piedra partida para conservación, que se depositan en los paseos, sustituyen con frecuencia á los malecones.

Los *guardarruedas* ó *guardacantones* sirven también de defensas, y se usan aislados ó en combinación con malecones ó pretiles interrumpidos. Se hacen de sillería, y por lo general tronco-cónicos y terminados en un casquete esférico muy rebajado; sus dimensiones medias vienen á ser 0^m,20 de diámetro en la coronación, 0^m,30 en la base y de 0^m,50 á 0^m,70 de altura, sin contar la parte empotrada en el suelo, que no ha de bajar de 0^m,40. En el interior y proximidad de las poblaciones, se instalan á menudo grandes guardarruedas moldurados, que son ya verdaderas obras de ornato.

No hay para qué decir que los pretiles, malecones y guardarruedas no deben considerarse como defensas eficaces para asegurar la circulación, pues no tienen suficiente resistencia para ello: sirven, no obstante, en muchos casos, para impedir ó atenuar desgracias.

Postes indicadores.—Los hay de varias clases, y se darán á conocer los kilométricos y miriamétricos, los de rasante, los divisorios de provincias, los de bifurcaciones y los de nieves ó guías.

Los *kilométricos* y *miriamétricos* señalan las distancias al origen del camino, y son muy útiles, tanto á los transeuntes como para organizar debidamente el servicio de conservación. En algunas provincias es común colocar también indicadores hectométricos que responden al último objeto indicado.

La medición de las carreteras radiales de primer orden, arranquen ó no de Madrid, se cuenta desde la losa situada frente á la puerta del Ministerio de la Gobernación; para las transversales se considera como origen el punto de separación de la línea de que partan y se continúa hasta su extremo, pero siempre en el sentido que indiquen los nombres con que se designan. (*Orden de la Dirección general de Obras públicas de 15 de Octubre de 1861.*) Las carreteras de segundo y tercer orden se miden siguiendo la dirección que marquen sus denominaciones respectivas.

Los postes indicadores de distancias se hacen de madera, hierro ó piedra. El primer material tiene el defecto de su poca duración, si no se conserva con esmero, además de la facilidad con que se pueden derribar los postes: sin embargo, al suprimir las antiguas *leguarias* y establecer para las mediciones el sistema métrico, en 1856, se dispuso que los indicadores en las carreteras del Estado se hiciesen de madera (1). Los postes metálicos, por regla general de hierro colado, son quebradizos; y como tienen algún valor venal, no se usan más que en vías, como los ferrocarriles, sujetas á vigilancia continua y en que no pueden sufrir deterioros por causa de los transeuntes. Los de piedra se usan hoy exclusivamente, y no ofrecen los defectos que los anteriores, aunque sí el de que, si no se conservan bien, desaparece al poco tiempo el color negro que se da á los números abiertos á cincel en el sillar, y se hace imposible la lectura para las personas que no se acerquen mucho al indicador, como sucede á todos los que van en carruajes.

(1) Instrucción de la Dirección general de Obras públicas de 28 de Febrero de 1857.

Para postes kilométricos y miriamétricos existen modelos aprobados por la Dirección general de Obras públicas en la Instrucción citada de 1861, los cuales se representan con claridad en las figuras 49.^a y 50.^a de la lámina 4.^a Los kilométricos llevan marcada en su cara anterior la distancia al origen, y en la posterior la que resta hasta el término del camino; los miriamétricos contienen tres guarismos: en el frente la distancia, en kilómetros, al origen, y en las laterales las correspondientes á las dos capitales de provincia ó poblaciones de entidad entre las cuales se halla situado el poste. Tanto estos indicadores como los demás de que en seguida se hablará, se establecen en el costado izquierdo de los caminos, en el sentido de la denominación de éstos, á menos que algún obstáculo lo impida y sea necesario situarlos en el opuesto. Si no fuere posible en ninguno de los dos, se adelantan ó atrasan lo absolutamente indispensable, cuidando de anotar en sus caras posteriores la distancia entre el verdadero punto de división y aquél en que se coloca el poste; pero en tal caso, el siguiente se sitúa donde corresponda, sin tener en cuenta la diferencia.

Cuando la carretera va por terreno natural, los postes de todas clases se ponen junto á la arista exterior de la cuneta; en los desmontes, en las escarpas, haciendo una roza, cuya base esté al nivel del paseo; y en los terraplenes, de modo que la cara de delante coincida con la arista de los mismos (1).

Los *indicadores de rasante* son indispensables para la buena explotación en los ferrocarriles: en carreteras no se usan, como no sea para marcar el principio y final de los trozos en que se autoriza la aplicación de la plancha. Redúcense casi siempre á sillares ó tablas, en que sólo se inscribe el nombre de aquel freno.

Los *postes de límites de provincia* son también de sillería, y afectan la forma general de un prisma recto de base triangular, con zócalo y cornisa, como indica la figura 51.^a Establécense de suerte que uno de los lados de la base sea paralelo al eje de la carretera.

Los *indicadores de bifurcación de caminos* se dibujan en la figura 52.^a El poste es de madera y de palastro las planchas, con una

(1) Todas estas prescripciones y las que en los párrafos siguientes se consignan sobre colocación de postes, constan en la Instrucción de 15 de Octubre de 1861.

ligera moldura alrededor: la sujeción de éstas con aquél se efectúa con tornillos, agregando el tarugo que se ve en el dibujo, cuando no sea recto el ángulo que formen los caminos; así se logra que los tableros sean paralelos á los ejes respectivos. Los postes se hincan lo suficiente para la necesaria estabilidad, y se alquitran ó carboniza la parte enterrada: el palo se pinta de color de ceniza, y de blanco las planchas. En éstas se inscribe el nombre de la capital de provincia más próxima á que se dirijan las carreteras.

Las letras y números de todos los indicadores reseñados han de tener 0^m,07 de altura y ser de los tipos que marcan los dibujos.

Los *indicadores de nieves ó guías* son postes de madera ó columnas de hierro ó fábrica, cuyo objeto es señalar la dirección de la carretera, cuando desaparece todo rastro de ella por cubrirla en extensiones considerables las nieves, como ocurre en nuestro país con frecuencia, en el paso de divisorias importantes. Las guías han de tener bastante altura para que no las cubran las mayores nevadas, y es preciso tomar algunas precauciones al colocarlas, cuando son muy repentinos los cambios de dirección de las alineaciones, á fin de evitar que, confundiéndose á cierta distancia unas con otras, se tome dirección inconveniente.

Para terminar lo que se refiere á postes indicadores, se consignará que á veces se construyen algunos que no se describen por ser de formas y materiales muy diversos, como los que en varias localidades (las Provincias Vascongadas, por ejemplo) se sitúan á la entrada de los pueblos, con inscripciones más ó menos prolijas; los que señalan los cruzamientos de cañadas y cordeles de ganados, etc.

Casillas de peones camineros.—Tienen por objeto albergar á estos operarios, consiguiendo mejorar algún tanto su posición, á la vez que utilizar más su trabajo, por no perder tiempo en trasladarse desde el pueblo de su residencia á los trozos que les estén encomendados, y, por último, dar cierta seguridad á los transeuntes, que saben pueden ser socorridos en caso de algún accidente. Por todas estas razones se comprende que las casillas son tanto más necesarias cuanto menor sea la densidad de población de la zona recorrida; así es que en el centro y mediodía de la Pe-

nínsula se imponen con más fuerza que en la región septentrional ó en la costa de Levante.

Se construyen para uno ó dos peones y sus familias, y se aprobaron modelos para ambos tipos por Real orden de 2 de Julio de 1852. En general, las viviendas se hacen siempre para dos vecinos, no sólo por razones de economía, sino para que los peones puedan prestarse mutuamente auxilios en caso de interceptación del camino por fuertes nevadas ó temporales, ó por cualquier otro incidente que ocurra en el tránsito. Sin negar estas ventajas, no cabe desconocer que la reunión en una misma casa de dos familias da lugar á cuestiones y reyertas, en las que á veces tienen que intervenir hasta los Ingenieros, y que, por otra parte, las distancias medias que han de recorrer los peones para trasladarse al sitio en que tengan el tajo es mayor que la que correspondería á viviendas independientes y más próximas entre sí. Bien lo han comprendido las Compañías de ferrocarriles, que es muy raro hagan casas para dos guardas: verdad es también que, por lo común, no proporcionan á éstos el desahogo y comodidad relativa de que disfrutaban los camineros del Estado.

Á pesar de todo, como las casillas para dos peones son las corrientes, á ellas se limitarán las indicaciones que siguen. La figura 63.^a de la lámina 5.^a dibuja la planta del modelo aprobado: á cada lado del edificio se dispone el departamento para una familia, compuesto de tres piezas, la cocina y dos dormitorios; son dependencias comunes la puerta de entrada, el vestíbulo, el corredor y el patio, en que se construyen un cobertizo para recoger herramientas y enseres, un excusado y un pozo. Prescindiendo de algunos defectos de detalle, que tienen facilísima enmienda, como el de no dar luz directa á uno de los dormitorios, que pudiera recibirla de la fachada lateral ó del patio, aun cuando fuese por un vano elevado para no disminuir la capacidad, es censurable la disposición adoptada, en el sentido de que son muchas las partes comunes, lo que da margen á frecuentes disensiones domésticas. No siendo preceptivo ajustarse á los tipos oficiales, muchos Ingenieros han redactado otros proyectos, que han merecido la aprobación de la Superioridad. Como ejemplo se presenta en la figura 64.^a la planta de casilla propuesta por el Ingeniero D. Ricardo Bogue-

rín: los departamentos son independientes en absoluto; cada peón entra al suyo por una puerta practicada en el muro lateral de la porción de patio que le corresponde, y aunque es cierto que la extensión superficial del edificio aumenta algo (como lo indica la línea de trazos y puntos que señala el espacio ocupado por el modelo del formulario), no lo es menos que se puede dar por bueno el exceso de coste que resulte, á cambio de la holgura de las instalaciones y de los disgustos que evita.

Nada hay que decir respecto á materiales, que deberán ser de los más abundantes y baratos de la localidad, ni á ejecución, que se ceñirá á los buenos principios del arte de construir.

Las casillas se sitúan, á ser posible, en parajes desde que se descubra gran extensión de carretera, é inmediatas al centro del trozo, si fuesen para un peón, ó al encuentro de los contiguos si se destinaren á dos. También ha de procurarse que el solar sea sano y ventilado, y plantar algunos árboles, que son convenientes por consideraciones de higiene y estética.

Pozos, fuentes y abrevaderos.—Debe recomendarse la apertura de pozos, cuando se pueda efectuar sin grandes gastos, á fin de procurarse agua para riegos del firme y arbolado, que tanto contribuyen á la buena conservación del camino: en tal caso, conviene dotar de bombas á los pozos para que se llenen las cubas con facilidad y economía. Algunas veces, si bien no es común, se proporcionan notables beneficios al tránsito, estableciendo fuentes y abrevaderos para ganado; mas para pensar en estas mejoras es preciso que se descubra un manantial abundante, y que se preste á ser aprovechado á poca costa.

Otras obras accesorias.—Existen, además de todas las mencionadas, multitud de obras accesorias, que en ocasiones tiene que construir el Ingeniero, sobre todo en el interior ó proximidad de poblaciones. Bastará citar las *glorietas* ó ensanches que se dan á los caminos en ciertos puntos, cuando aquéllos son á la vez paseos públicos; los *bancos*, artísticos á menudo, que se colocan en los costados y que se hacen de materiales muy diversos; el *alumbrado* de determinados trozos, etc., etc. Imposible es citarlas todas, y menos todavía puntualizar sus disposiciones y modo de ejecutarlas, pues que es lógico quede en libertad el In-

geniero de proponer en cada caso lo que conceptúe adecuado.

II.—ARBOLADO.

CONDICIONES DE ESTABLECIMIENTO.

VENTAJAS É INCONVENIENTES.—Las principales ventajas que presenta el arbolado en las carreteras son las siguientes: 1.^a, constituye un ornato agradable á los viajeros, á la vez que proporciona sombra en las épocas calurosas; 2.^a, reemplaza á las guías cuando las nieves borran la dirección del camino; 3.^a, en localidades secas mantiene en el firme cierta humedad, muy favorable para que aquél se conserve en buen estado; 4.^a, da productos aprovechables (maderas y ramas), que compensan en algún modo los gastos que origina; y 5.^a, si está formado por especies á propósito, puede ser en determinadas zonas excelente medio de saneamiento.

Al lado de los beneficios indicados, procede reseñar los inconvenientes, que son: 1.^o, aumentar la humedad en comarcas bajas y propensas á encharcamientos; 2.^o, ensuciar el firme en otoño, durante la caída de las hojas; 3.^o, estrechar el paso en caminos de escasas dimensiones transversales.

Como quiera que el segundo defecto carece de importancia, si la carretera se conserva bien, porque las hojas se quitan al mismo tiempo que los detritos ocasionados por el desgaste, puede deducirse que el arbolado será favorable en todos los caminos, cuya anchura lo permita, exceptuando los trozos situados en parajes excesivamente húmedos, que no son frecuentes en nuestro país.

DISPOSICIÓN EN QUE DEBEN QUEDAR LOS ÁRBOLES.—Plántanse éstos formando una fila en cada costado, á menos que se trate de paseos ó vías de anchura considerable, en que se pueda sin inconveniente establecer mayor número de líneas de árboles. Cuando éstas son varias á cada lado, suele dejarse entre dos consecutivas un espacio que no baja de 3 metros, y conviene que las plantaciones se hagan alternadas, es decir, que los árboles más próximos de dos filas inmediatas no estén en un plano perpendicular al eje de la calzada.

Cuando el camino va á flor de tierra ó en desmonte, se sitúan

los árboles en dirección de la arista exterior de la cuneta, para que no perjudiquen al libre paso de las aguas; si el plantío se hace en terraplenes, es lo mejor establecerlos, cuando es pequeña la cota, al pie de los mismos, é inmediatos á la línea superior del talud cuando aquélla es de cierta consideración.

La distancia á que han de quedar unos de otros varía de 2 á 10 metros, según las circunstancias, entre las cuales ejercen influencia marcada la especie arbórea, las condiciones climatológicas y la mayor ó menor proximidad á centros de alguna importancia (1).

ELECCIÓN DE ESPECIES.—Los árboles que conviene elegir son de especies muy diversas, según se prefiera las que tardan en desarrollarse y producen maderas duras propias para la construcción, ó por el contrario las que crecen con rapidez y dan pronto sombra, pero en cambio su madera es blanca, por lo común, y de aplicaciones más limitadas. En uno ú otro caso dependerá la elección del clima, y de la naturaleza de la tierra vegetal, en que pueden dominar substancias tan heterogéneas como la arcilla, la sílice ó la cal.

Las especies que más se usan en carreteras, eligiendo unas ú otras, en consonancia con los elementos indicados, son las siguientes: como árboles de madera dura, el álamo negro (*populus nigra*), el olmo (*ulmus campestris*), los robles y encinas comprendidos en el género *quercus*, el nogal (*juglans regia*), el haya (*fagus sylvatica*), el fresno (*fraxinus excelsior*), el castaño (*fagus castanea*) y el eucalipto (*eucalyptus globulus*); entre los de madera

(1) La distancia á que han de plantarse los árboles, cuando haya una sola fila, varía de 8 á 10 metros para el roble, olmo, castaño, haya, plátano y tilo; de 7 á 8, para el álamo blanco y chopo; de 6 á 7, para el fresno y nogal; de 5 á 6, para las acacias y paraísos, y de 4 á 5, para el álamo negro. Algunos árboles poco usados en carreteras, como el ciprés, se plantan á distancias de 2 á 3 metros.

Para mayores detalles sobre este particular y cuanto se expone en este artículo, véase el excelente *Compendio de Arboricultura* del Inspector general del Cuerpo, D. Luis Sáinz (Jaén, 1871), del cual se extractan estas nociones. Conviene asimismo consultar el tratado de *Arboriculture*, del Sr. Du Breuil, 2.^a edición (París, 1865), y los notables artículos del Profesor de Historia Natural, D. Ramón Llorente y Lázaro, que se insertaron en la *Revista de Obras públicas* (años 1853 y 54).

blanda (mucho más empleados que los anteriores), el álamo blanco (*populus alba*), el piramidal ó chopo (*populus pyramidalis*), el plátano occidental (*platanus occidentalis*), los diferentes géneros y especies de acacias (*gleditschia* y *robinia*), el castaño de Indias (*esculus hippocastanum*), el tilo (*tilia platiphylla*) y el árbol del Paraíso (*eleagnus angustifolia*).

Algunos árboles deben proscribirse para caminos, como los frutales, que adquieren en general poco desarrollo y están mas sujetos que otros cualesquiera á ser objeto de la codicia de los transeuntes, y las coníferas, que pueden ser adecuadas para paseos, pero que de ordinario no son de buen efecto en vías públicas, como lo demuestran elocuentemente los pinos de la calle de Alcalá. En Francia no se admiten tampoco en carreteras el tilo ni el castaño de Indias, en vista de la escasa utilidad de sus productos; pero no parece digna de imitarse la medida, porque en el arbolado debe atenderse en primer lugar al ornato y la sombra, y no cabe duda de que las dos especies indicadas satisfacen cumplidamente á ambas condiciones.

Por último, algunos árboles dicotiledones se dan muy bien en ciertas zonas de España y pueden adoptarse, en especial en el interior de poblaciones: así en Barcelona, Alicante y otros puntos, se han colocado palmeras en vías públicas.

La manera de criar los árboles y de trasplantarlos á su sitio definitivo cuando tienen condiciones de viabilidad, constituirán el objeto de los dos párrafos siguientes.

VIVEROS.

Generalidades.—La cría de árboles destinados al servicio de Obras públicas, bien para plantarlos en caminos ó paseos, formar setos vivos, defender márgenes de ríos ú otros usos, se verifica en *viveros* ó *planteles*, que deben estar situados en el centro de la zona á que han de abastecer y en la proximidad de vías fáciles y rápidas de comunicación. El terreno que se elija ha de medir extensión proporcionada al número de plantas: para 8 ó 10.000 basta una superficie de 1 $\frac{1}{2}$ á 2 hectáreas; conviene que sea poco quebrado, y que las condiciones climatológicas, la naturaleza del suelo y el

caudal de aguas, sean los necesarios para el crecimiento de las especies que hayan de cultivarse. Por lo común, conviene la exposición á mediodía en comarcas frías y al norte en las cálidas, y en todos casos deben defenderse los viveros con plantaciones, cuando no lo estén naturalmente de los vientos fuertes, fríos ó demasiado secos.

Hay precisión de cerrar los planteles con verjas, muros ó setos vivos: los dos primeros sistemas son costosos, y de ordinario se emplea uno de ellos, según las circunstancias, en el frente que da á la carretera, y el último en los otros tres costados.

En el interior es muy oportuno construir una casilla que sirva de vivienda al guarda, el cual ejerce así vigilancia constante y evita muchas veces el arranque ó deterioro de árboles jóvenes. En la misma casilla pueden establecerse el depósito de semillas y el almacén de aperos.

LABORES PREPARATORIAS.—Cercado el plantel, y con toda la antelación posible á la siembra, se labra el terreno con arado ó azada, en profundidad tanto mayor, cuanto mejores sean las condiciones del subsuelo: de esta manera queda la tierra suelta y limpia, si se ha cuidado de quitar piedras, raíces ú otros cuerpos que puedan perjudicarla.

ERAS.—La superficie del plantel se divide luego en *eras*, *cuarteles* ó *bancales*, separados por calles de anchura distinta, según el uso á que se destinen: en algunas debe ser aquélla de unos 3 metros para el tránsito de los carros que lleven materiales ó abonos, y de los que carguen árboles. El ancho de las eras no suele pasar de 8 ó 10 metros. Cada cuartel se reserva para una sola especie arbórea, y aun conviene sean diferentes para las plantas de idéntica naturaleza, pero distintas edades. De los cuarteles, para cada clase de árboles, se reserva uno para *semillero* ó *almácea*, eligiendo siempre el que esté mejor expuesto, y claro es que convendrá escoger bancales de condiciones tanto más favorables, cuanto más jóvenes fueren los individuos que hayan de crecer en ellos.

Las eras se establecen algo por encima ó debajo de los paseos, conforme se trate de comarcas húmedas ó secas, y con la ligera inclinación necesaria para que reciban los riegos convenientemente.

ABONOS.—La potencia y fertilidad del suelo se aumentan ó disminuyen, según sea oportuno, por la adición de substancias adecuadas ó la desaparición de otras. En estas modificaciones desempeñan papel importantísimo los *abonos*, que pueden consistir en *tierras* de diferente naturaleza ó en *estiércoles*: estos últimos son *vegetales*, como el mantillo de hojas, ó *animales*, como los excrementos. Se usan asimismo ciertas *sales minerales*, como el nitrato sódico, tan abundante en las pampas del Pacífico, y los fosfatos cálcicos, que se explotan en grande escala en Extremadura.

RIEGOS.—Para que prosperen los árboles, es de todo punto indispensable contar con agua suficiente para dar, no riegos excesivos, pero sí los necesarios, que varían con las circunstancias locales y las especies arbóreas. La calidad del agua ha de ser apropiada al cultivo, y ninguna regla general puede fijarse: en unos casos, serán preferibles á todas, las aguas naturales más puras, las de lluvia, y en otros, las substancias que ciertas aguas contengan en disolución ó suspensión, podrán hacer innecesarios los abonos. Es muy común tener que recurrir á la apertura de pozos, elevando el líquido por medio de norias, siendo preciso construir entonces un depósito, que tampoco se evita cuando es escaso el caudal disponible.

El riego que más cala la tierra y produce efectos de más duración, es el llamado *de pie*, que se efectúa por regueros que rodean los cuadros y cruzan los paseos por atanores. No debe perderse de vista que son preferibles pocos riegos y fuertes á muchos y ligeros.

Las almácigas deben regarse siempre con regadera y roseta de agujeros finos.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROPAGACIÓN DE ÁRBOLES.—Los dos que se emplean son: el de *semilla* ó *propagación ovípara*, que es el más general y el que da individuos más vigorosos y de vida más larga, y el de *propagación vivípara*, ó sea con fragmentos del mismo árbol, que es más rápido y á veces más seguro.

Propagación ovípara.—**SEMILLAS.**—Las semillas se han de reconocer con cuidado antes de emplearlas; de sus buenas condiciones y de las de la almáciga dependen los resultados que se obtengan, y desde luego pueden establecerse los siguientes prin-

cipios: 1.º, cuanto más finas sean las semillas menos deberán enterrarse y más ligera y tenue habrá de ser la tierra; 2.º, la temperatura del suelo se conservará, por medio de abonos, dentro de los límites convenientes para la germinación; 3.º, se cuidará de que la tierra suministre toda la humedad necesaria para el desarrollo del embrión.

ÉPOCA DE LA SIEMBRA.—No hay conformidad entre los autores respecto á la época más oportuna para la siembra: sin embargo, es lo común sembrar en primavera ó verano las semillas que maduran respectivamente en dichas estaciones; y antes de entrar la primavera, las que llegan á su madurez en otoño. La regla tiene, no obstante, algunas excepciones: por ejemplo, el ciprés se da mejor en la última estación nombrada, á pesar de madurar en primavera. La germinación de acacias y otros árboles análogos se adelanta teniendo en agua la semilla, por espacio de veinticuatro horas, antes de enterrarla.

SIEMBRA EN ALMÁCIGA.—La siembra es *de asiento* para las plantas que se han de desarrollar sin cambiar de sitio: en los viveros, y en general siempre que el árbol se ha de trasplantar, efectúase aquella operación *en almáciga*. No se describirá, por tanto, más que esta última.

Se comienza por cavar el semillero, en 0^m,35 ó 0^m,40 de profundidad, depositando la tierra en los costados para que las acciones atmosféricas beneficien el fondo, en todo el período que media entre la última desplantación y la época de siembra.

Á fines de invierno se llena el desmonte con tierra bien abonada y fina, poniendo debajo unos 0^m,15 de estiércol de *pajaza* (1), que retendrá la humedad y el calor, conservando mullido el terreno nuevo. Llegado el momento de sembrar, se hacen surcos, que disten de 0^m,18 á 0^m,24 para las semillas finas, y de 0^m,40 á 0^m,50 para las gruesas y de hueso, dándoles la profundidad que convenga en cada caso; ó bien se siembra *á vuelo y espeso*, contando con la entresaca; pero es preferible el primer sistema, que facilita las desplantaciones. Los surcos se abren en dirección N. S. para que la sombra de una fila no perjudique á la inmediata, y se

(1) Desecho que dejan las caballerías de la paja larga que comen.

colocan las semillas extendiéndolas con igualdad y á distancias proporcionadas al desarrollo que hayan de alcanzar las plantas. Sea cual fuere el medio que se adopte, se cubren las semillas con tierra fina, que se comprime ligeramente con la pala ó parte convexa del *almocafre* (1), y encima se tiende una capa de mantillo, á fin de disminuir los efectos de la evaporación y defender las semillas de la acción de las lluvias.

En almácigas distintas se colocan las diversas especies; pero si se trata de plantas delicadas ó de adquisición costosa, es mejor emplear macetones ó tientos ordinarios, uno para cada individuo, lo que facilita el trasplante, á causa de poder conservar la tierra que rodea las raíces.

CUIDADOS QUE REQUIEREN LAS ALMÁCIGAS.—Hecha la siembra, se da en seguida un riego, y hasta que se verifique el trasplante, al cabo de uno ó dos años, según la fuerza que hayan adquirido las plantas, las almácigas no requieren más cuidados que la escarda de hierbecillas, los riegos y el abrigo con paja larga á la entrada del invierno, para impedir los efectos de las primeras heladas en los tallitos poco desarrollados ó en las raíces de especies delicadas.

TRASLACIÓN DE LOS ÁRBOLES Á OTROS CUARTELES.—Á medida que crecen las plantas necesitan más espacio, y hay que trasladarlas á otros cuarteles hasta que se hallen en disposición de sufrir el trasplante definitivo ó *de asiento*. Se labran las eras, en una profundidad de 0^m,50, sin agregar exceso de abono, y se abren zanjas á cordel separadas de 0^m,40 á 0^m,50 y de anchura adecuada al desarrollo que hayan podido alcanzar las raíces.

La época mejor para trasplantar los árboles de la almáciga al primer cuartel, suele ser el final del otoño ó principio del invierno para las especies de hojas caducas, y para las que las tienen perennes los últimos días de Agosto ó los primeros de Mayo, en que la vegetación no está paralizada ni en su actividad máxima: en el Mediodía se prefiere aquella temporada, esto es, el final del verano.

(1) Instrumento de hierro, encorvado, que remata en lengüeta de dos cortes, y tiene un mango redondo de madera. (Clairac, *Diccionario de Arquitectura é Ingeniería*.)

El trasplante desde macetas no ofrece dificultad alguna: en el caso más general, cuando los árboles proceden de semilleros, hay que comenzar por *desplantarlos*. Para ello se abre paralelamente á la línea de plantación una zanja bastante profunda para llegar al extremo de las raíces; se mina con precaución la tierra para que se desprenda sin perjudicar á aquéllas, y en seguida se separan los árboles y se plantan en el nuevo cuartel, con las precauciones que pronto se dirán. Cuando por cualquier causa no se planten inmediatamente, se entierran á medias en sitio abrigado del frío y la solana. Desplantado el arbolito, conviene cortar la raíz central, por el último tercio, cuando sea de longitud excesiva; así se logra que las raíces se ramifiquen mejor lateralmente y se facilitan y abaratan los trasplantes sucesivos. En los viveros del Ayuntamiento de Madrid, se acostumbra poner una teja debajo de la raíz central para evitar que crezca verticalmente, dése ó no el corte. No sólo es buena práctica reducir la longitud de aquélla, sino la de todas las laterales que estén demasiado desarrolladas, y suprimir algunas ramas, ya que se quitan elementos generadores.

Preparadas las plantas conforme se ha indicado, procédese al *trasplante*. Al efecto, se llevan al surco abierto con antelación en el bancal, y el plantador, con una rodilla en tierra, las coloca de-rechas, haciendo que se apoyen en una de las paredes de la zanja, y á distancia de 0^m,18 á 0^m,30, según el desarrollo presente y al que hayan de llegar en lo por venir; las alinea con una cuerda tirante, y con la mano derecha cubre de tierra las raíces, mientras sostiene la planta con la izquierda. Colocada una fila, se abre la segunda zanja, paralela á la primera, empleando la tierra extraída en cubrir la anterior, y se continúa del mismo modo, comprimiendo el suelo con los pies, conservando siempre verticales los arbolillos, y dando al final un riego para completar el asiento del terreno.

CUIDADOS QUE REQUIEREN LAS PLANTAS EN LAS ERAS DE CRECIMIENTO.—Son análogas á las que exigen las almácigas, á saber: labores ó escardas para destruir las vegetaciones perjudiciales y mantener esponjosa la tierra; extensión de cubiertas de pajaza, que sirvan después de abono; riegos en coñto número, pues bastará con uno semanal en el Centro y Mediodía, siendo común

que pueda prescindirse de ellos en las provincias del Norte, si se practican bien las operaciones anteriores; y, por último, dirección conveniente del tallo principal ó *guía*. Se consagrarán breves palabras al último punto.

Es frecuente que en los primeros años de la vida de los árboles, algunas ramas laterales, favorecidas por la luz ó su posición particular, adquieran vigor excesivo: para impedirlo se repasan en Mayo ó Junio, en el sur de España, y en Julio en las demás provincias, cortando la extremidad herbácea de las yemas más desarrolladas en los costados; así se evita que éstas se transformen en ramas, con detrimento de la *guía*.

Á pesar de todos los cuidados que se prodígen, no se logra á veces que el tallo de árboles de sombra crezca derecho y con vigor, siendo preciso acudir al *desmoche*. Hácese éste pasado el segundo año de vegetación en el cuartel, y hacia fines de Febrero, cortando el tronco de todos los árboles mal dirigidos, á cosa de un decímetro del suelo. El tallo que queda se cubre pronto de brotes, entre los cuales se elige, cuando llega á medir unos 0^m,20, el más vigoroso, que se pone vertical, apoyándolo contra el tronco y sujetándolo con ligaduras de junco ó mimbre. Los otros brotes se cortan por completo, y el resalvo crece con tanta fuerza, que suele alcanzar dos metros de longitud en el primer año, y en Febrero del siguiente se puede cortar el tronco por cima del arranque del vástago. Este procedimiento no da buenos resultados en algunos árboles, como encinas, nogales y castaños de Indias, cuyas guías deben formarse desde su nacimiento.

Los trasplantes sucesivos á otros cuarteles, que á veces se reducen á uno, se efectúan en las épocas y con las precauciones que se han señalado para el de la almáciga al primer bancal. Se colocan los árboles en filas, y á distancias comprendidas entre 0^m,45 y 0^m,75, si no son aquéllos de mucho ramaje; en caso contrario, se llega á un metro. Unos meses antes se da al terreno una labor de 0^m,65 de profundidad, lo que evita abrir surcos para recibir las plantas, porque estando removido el suelo, no hay más que practicar hoyos de la profundidad y anchura necesarias para que queden las raíces sin doblarse ni aplastarse, y de suerte que los árboles queden enterrados en el mismo grado que lo estaban en el

cuartel anterior. Mientras el plantador está echando la tierra, otro operario imprime al tronco un pequeño movimiento de vaivén y de arriba á abajo, para que aquélla penetre en todos los intersticios de las raíces; en seguida se afirma el suelo y se riega.

Colócanse los individuos en el último cuartel, *de tresbolillo*, disposición que consiste en que dos árboles contiguos de una hilera y el comprendido entre ellas en una de las inmediatas, arranquen de los vértices de un triángulo equilátero: es el mismo sistema que se dijo debía adoptarse para las plantaciones de varias filas en un mismo costado de vías ó paseos (pág. 163).

En el último cuartel se tienen los árboles hasta que estén en condiciones de trasplantarse á la carretera, para lo cual han de alcanzar la altura mínima de dos metros y medio y 0^m,10 de circunferencia, á un metro del cuello de la raíz. Para conseguir estos resultados, se practican ciertas operaciones en el vivero, que son independientes del sistema que se haya seguido para la multiplicación de las especies, y se darán á conocer después de explicar el de propagación vivípara.

Propagación vivípara.—CLASIFICACIÓN.—La propagación vivípara está basada en producir plantas completas, tomando fragmentos de las ya existentes, y desde luego cabe considerar dos sistemas de multiplicación: *por raíces* y *por ramas*. Subdividese el último en dos grupos: *por estaca ó plantón*, si la rama se separa por completo de la planta madre; y *por acodo*, en caso de que la separación sólo se efectúe cuando se han producido raíces nuevas. Finalmente, hay otro método de propagación vivípara, que consiste en reunir en una sola dos plantas: el *patrón*, que tiene sus raíces en el suelo y ha de dar el alimento común, y la *púa ó escudete*, que se destina á producir las hojas, flores y frutos de la planta mixta: esta operación, llamada *ingerto*, es muy frecuente en jardinería, pero rarísima en los viveros, no siendo necesario describirla. Tampoco es práctica en los planteles la multiplicación por raíces: de modo que en estas ligeras nociones se limitará el estudio á las propagaciones por estacas y por acodo.

PROPAGACIÓN POR ESTACA Ó PLANTÓN.—Puede hacerse careciendo ó no de hojas el plantón, y también con yemas naturales. En el primer caso, único importante para el Ingeniero, se toma

un trozo de rama verde y jugosa, de unos 0^m,30 de largo: en la extremidad raigal se da un corte de pluma, y otro, normal al eje, por encima de una yema; se planta vertical la estaca y á profundidad tal, que siempre queden fuera una ó dos yemas. El terreno debe labrarse bien en un espesor de unos 0^m,30, y trazar en él surcos espaciados 0^m,50 por término medio. Para la plantación se usa la azada; pero si la rama es delgada, basta un regatón de hierro ó madera, con el que se hace un agujero en el suelo, de dimensiones adecuadas á las del plantón; se introduce éste, y en seguida se asienta y pisa la tierra á su alrededor. Conviene cortar las estacas desde principios de Diciembre á los primeros días de Febrero, escogiendo aquéllos en que no hiele; se reúnen en manojos de 0^m,15 de diámetro, que se entierran en seguida con las cabezas hacia abajo y hasta enrasar con el suelo, que no ha de tener mucha humedad; se cubren luego con una capa de tierra de 0^m,25 de grueso, y así se conservan hasta Marzo, época en que se llevan á los cuarteles de desarrollo ó se plantan de asiento. Varios árboles, como los álamos blancos, sauces, plátanos, etc., se prestan perfectamente á este sistema de reproducción.

Conforme se acaba de indicar, la época mejor para plantearlo es la proximidad de la primavera; sin embargo, en terrenos algo secos y no castigados por los hielos, puede hacerse desde mediados de otoño.

No cabe establecer reglas invariables respecto á las condiciones más á propósito de calor, luz, humedad y suelo para las propagaciones por estaca, que dependen de las especies arbóreas que se desee arraigar. No obstante, convendrá en la mayoría de los casos: 1.º, que el calor de la tierra exceda en algunos grados á la temperatura media del lugar en que vive la planta madre; 2.º, que la luz sea difusa, evitando los rayos directos del sol, con la sombra de un muro ó la de otros árboles; 3.º, que no haya demasiada humedad, proporcionando con riegos la necesaria; y 4.º, que el suelo ofrezca mucha permeabilidad al aire y al agua, lo que sólo se logra con tierras muy ligeras.

Los árboles, después de arraigados, se someten á los mismos cuidados que á los provenientes de reproducción ovípara.

PROPAGACIÓN POR ACODO.—Se prescindirá de los *acodos compli-*

cados, que se usan poco en los planteles, dando idea tan sólo del *encamado* y del *apeo*.

Consiste el *encamado* en sepultar en el terreno una rama, dejando fuera sus últimas yemas; se desarrollan así raíces en puntos donde nunca se hubieran producido naturalmente, y en escala tanto mayor cuanto más pronunciada sea la curvatura que afecte la rama, lo que se explica por la detención que experimenta la savia en los puntos bajos.

El *encamado sencillo* ó *de mugrón*, se efectúa enterrando las ramas en excavaciones de 0^m,08 á más de 0^m,12 de profundidad, sujetándolas, si es necesario, con un corchete de madera clavado en el suelo, y cortando la extremidad que queda al aire á 0^m,10 ó 0^m,15 de la superficie: tal es el sistema que se sigue para reproducir las vides.

Cuando la rama es bastante larga, para que con varias inflexiones pueda estar en contacto con diversos puntos del suelo, el *encamado* se hace *por serpenteo*, cuidando de que en cada uno de aquéllos asomen una ó más yemas. De este modo arraigan tantos individuos como arcos describe la rama.

El *acodo por apeo* consiste en cortar el patrón á raíz del suelo antes de la primavera, y cubrir la cepa con tierra: se forman brotes ó renuevos, arraigados casi todos en la base, que se pueden separar y plantarlos al año siguiente. Por este método, aplicable al moral y otros árboles, es por el que se consigue obtener mayor número de retoños de la planta madre.

Precáuiones que deben observarse en los viveros.
—GUÍA DE LOS ÁRBOLES.—En los últimos bancales de crecimiento, y, sobre todo, si las plantas han perdido la cabeza de la guía, se desarrollan en aquéllas tallos algo aproximados á la vertical y más ó menos vigorosos, según las influencias de aire y luz que reciban. Si se quiere tener árboles de mucha sombra, sin atender al producto de la madera, se prescinde de la conservación ó reproducción de la guía, consagrando los cuidados á las ramas laterales. Escógense al efecto las tres ó cuatro que arranquen con más simetría y ofrezcan mejor aspecto, podándolas de suerte que los nuevos tallos que produzcan se separen más y más del tronco, pues no ha de olvidarse que la principal misión de los árboles en

las vías públicas es proporcionar sombra densa y á altura tal que no perjudique al tránsito. Á la primavera siguiente se renueva la operación en los tallos que hayan brotado de los conservados, y se cortan por completo los que sigan direcciones desfavorables.

ALTERNANCIA DE CULTIVOS.—La experiencia enseña que para obtener en los viveros productos máximos con los menores gastos posibles, deben observarse las reglas siguientes: 1.^a, dejar transcurrir mucho tiempo para cultivar en un mismo cuartel idénticas especies, géneros ó familias; 2.^a, sustituir en cada era los árboles pequeños por grandes, los de raíz central desarrollada por los de raíces extendidas, y viceversa; 3.^a, alternar el destino de las eras, de modo que cada una sirva sucesivamente, en cuanto las condiciones lo permitan, de almáciga y de cuartel de crecimiento; y 4.^a, mantener la fertilidad del plantel, mediante abonos bien proporcionados en cantidad y calidad.

Con lo expuesto quedan reseñadas las principales operaciones que hay que practicar en los viveros, restando tan sólo describir someramente el modo de hacer la plantación de asiento en el camino ó paseo.

PLANTACIÓN DEFINITIVA.

Operaciones previas.—Escogidas las especies que reconocidamente prevalezcan en el sitio en que van á colocarse, y determinada la distancia á que han de quedar los árboles unos de otros, se procede á abrir los hoyos correspondientes, que conviene sean más anchos que profundos y de sección circular ó cuadrada.

El diámetro del círculo ó lado del cuadrado, variables con la fertilidad del terreno y dimensiones de la planta, oscilan entre un metro y 1^m,50; la profundidad del hoyo depende del grado de humedad de la tierra y suele estar comprendida entre 0^m,80 y 0^m,40, según que aquélla esté más ó menos seca.

La mejor época de abrir las excavaciones es algunos meses antes de la plantación, con objeto de que la tierra reciba la acción fertilizadora del aire, y el fondo del hoyo un buen abono con los arrastres de las aguas. Las capas de terreno extraídas se deposi-

tan separadas, tanto para que formen montones más pequeños en los paseos, como para conservarlas clasificadas por orden de fertilidad (sobre todo cuando se practiquen las excavaciones en terreno natural ó en desmontes de poca cota), pues es evidente que las superficiales estarán más cargadas que las del fondo de substancias asimilables á los vegetales.

Finalmente, al abrir los hoyos debe cuidarse de descuajar las raíces que pudieran encontrarse, procedentes de plantaciones antiguas.

Desplantación.—Los árboles se extraen del último cuartel de crecimiento en otoño, á poco de caer la hoja, escogiendo tiempo apacible y no lluvioso, y evitando los vientos fríos y secos, que desorganizan las raicillas.

El desarraigo se efectúa de manera análoga á la explicada para trasladar los árboles de una á otra era en el vivero. Paralelamente á la fila que vaya á desplantarse y en su proximidad, se abre una zanja, cuya solera quede más baja que las extremidades de las raíces: fácil es entonces socavar la tierra y aislar los árboles, que se sacarán con la mayor parte de aquéllas. Si á pesar de todas las precauciones, algunas raíces hubieran sufrido magullamientos, se recortan con el *tranchete* (1), para que las heridas resulten iguales y lisas; lo propio se hace con las ramificaciones demasiado largas que pudieran embarazar el trasplante, pero procediendo con mucha parsimonia, en especial tratándose de individuos de madera dura ó resinosa. De todos modos, ha de procurarse verificar la desplantación con el mayor número posible de raíces.

El corte de algunas de éstas obliga á suprimir también ramas para establecer el debido equilibrio entre las dos clases de órganos: deben limitarse, sin embargo, las podas á los brotes del último año, ó á lo sumo del anterior, huyendo de la viciosa práctica de cortar todas las ramas, excepto la central, pues semejantes mutilaciones deforman los árboles, retardan su desarrollo, les quitan defensas contra los vientos y comprometen el éxito del desarraigo. Sólo puede admitirse la supresión completa de las ramas, incluso la guía, cuando por criarse demasiado próximas las plantas en los

(1) Navaja de hoja ancha y pronunciadamente curva en la extremidad.

cuarteles, hayan pasado de la altura de 3 á 4 metros, que es la máxima con que deben trasladarse, pues de ser más elevadas se las expondría á que las tronchasen los vientos; ó cuando, por circunstancias particulares, haya sido preciso castigar mucho las raíces: debe cuidarse con particular esmero de que no se presente ninguno de estos casos.

Hecha la desplantación, se transportan los árboles al sitio que se les destine, sin que sea necesaria más advertencia, cuando éste se halle cerca, que la de que los individuos que se trasladen han de ser los que puedan plantarse en el día, ó mejor en cierto número de horas. Si quedasen algunos sin colocar, así como desde que se desplantan hasta que se cargan para conducirlos, conviene conservarlos tendidos y resguardados las raíces del frío y el aire seco, enterrándolas en suelo removido. Si, como acontece casi siempre, el transporte ha de ser á algunos kilómetros de distancia, se preparan los árboles envolviendo las raíces en tierra arcillosa, simplemente humedecida ó mezclada con boñiga de vaca, y se sostiene la cubierta con paja y ligaduras para que no se desprenda en el camino. La conducción se lleva á cabo, por lo general, en carros ó carretas, procurando afirmar bien las plantas para que no sufran desperfectos.

Trasplante.—MANERA DE EJECUTARLO.—Conviene hacerlo en seguida del desarraigo: pero si, por cualquiera circunstancia, fuese preciso verificarlo en primavera, se desplantan los árboles en invierno y se colocan en zanjas en el mismo vivero ó en las cercanías del sitio de plantación: así se retrasa su primer desarrollo primaveral sin que se perturben las funciones fisiológicas cuando se les ponga de asiento. En ciertos casos es conveniente la plantación en la época referida: por ejemplo, cuando el suelo es arcilloso y los inviernos muy fríos y húmedos, porque entonces los árboles plantados en otoño no encontrarían en la tierra suficiente calor para emitir nuevas raíces y cicatrizar las heridas de las antiguas; también conviene la primavera para plantar especies de raíces carnosas y blandas, que requieren riegos en primaveras secas y suelo ligero.

Antes de colocar los árboles, es preciso repasar los hoyos para quitarles las piedras y cuantas substancias perjudiciales hayan

caído en ellos, así como achicarlos si contienen agua. Remuévese luego el fondo y se echa una ligera capa de la tierra que estuvo en la superficie y que se separó al abrir el hoyo, añadiéndole, si fuere de mala calidad, unas dos espueñas de estiércol ó medio kilogramo de *guano* (1); debe darse á la capa espesor proporcionado á la altura de las raíces, para que, una vez colocado el árbol, quede su cuello á nivel del fondo de la cuneta ó del talud del terraplén, según sea el perfil transversal, y mejor aún más alto para compensar los efectos del asiento. No ha de perderse de vista que es preferible la poca profundidad á la excesiva, para que las raíces reciban las influencias atmosféricas.

Á ser factible, los árboles se plantan con orientación poco diferente de la que tuvieron en el vivero, para lo cual puede señalarse con yeso ó almagre, al desarraigarlos, el lado que estuvo expuesto al mediodía. Esta operación, casi necesaria para las plantas que ocuparon las filas extremas de los cuarteles, no huelga para las demás, que por su temprana edad reclaman cuidados prolijos en los primeros tiempos.

Preparado el fondo del hoyo, se coloca el árbol, alineándolo con esmero, en la dirección que deba tener, conservándolo bien vertical; se va echando la tierra, interponiéndola en las raíces en sentido opuesto al que ocupó en el hoyo, es decir, que sobre la del fondo irá la que estuvo más próxima á la superficie. Así se continúa hasta extender la sacada del fondo, agitando ligeramente el árbol de arriba á abajo para facilitar la penetración de la tierra entre las raíces. Por último, se comprime, pisándolo, el suelo, manteniendo siempre derecho el árbol, y se da un riego, cuidando antes de disponer un depósito pequeño ó poza, alrededor del árbol, para que el agua se detenga y se aproveche mejor.

TRASPLANTE DE ÁRBOLES GRANDES.—En el servicio de Obras públicas, rara vez ocurre trasplantar árboles muy desarrollados,

(1) Estiércol semejante á la palomina: es producto de excrementos de aves marinas, y proviene de las costas occidentales de la América del Sur y de las del África Austral. Se encuentra formando depósitos y bancos, á veces de gran potencia. El guano más apreciado provenía de las islas de Chincha (Perú), mas la activa explotación de que fué objeto ha agotado completamente aquel rico venero.

como no sea en casos de rectificación ó ensanche de carreteras. La operación es difícil y expuesta, no sólo por la altura del árbol, sino por las mutilaciones que tienen que sufrir las raíces, y que se procurará sean las menos posibles y muy separadas del tronco. También conviene aumentar las probabilidades de buen éxito, suprimiendo parte de las ramas ó recortándolas todas para disminuir la evaporación ocasionada por las hojas. Por muchas que sean las precauciones, los árboles se debilitan en los primeros años, y de ordinario no recobran nunca por completo su lozanía.

Cuando los árboles llegan á medir 8 ó 10 metros de altura, los gastos que producen la desplantación, el transporte con aparatos especiales y el trasplante, no compensan las ventajas de conservarlos.

RIEGOS Y DEFENSAS.—Ya los árboles en su sitio, hay que defenderlos de la sequedad del suelo, lo que se consigue con *riegos*, *binazones* y *cubiertas*; pero como estos trabajos constituyen parte de los de conservación, de ellos se tratará en lugar oportuno, esto es, en la sección tercera. Aquí sólo hay que agregar á lo que ya se ha dicho en páginas anteriores, que conviene dejar establecidas de modo permanente las pocetas alrededor de los árboles, y en comunicación entre sí por reguerillos: éstos y aquéllas se hacen, por lo general, de piedra ó ladrillo en el interior de poblaciones, y el diámetro de los depósitos suele variar de 0^m,50 á 0^m,80, y la profundidad de 0^m,20 á 0^m,30.

Asimismo hay que proteger á los árboles jóvenes contra los accidentes á que están expuestos por malevolencia de los transeuntes, choques ó vientos fuertes. Al efecto, es á propósito una envuelta de zarzo y espino, de 1^m,70 á 2 metros de altura, que se sujeta con tres ligaduras de alambre, que se aflojan á medida que crece el árbol. La defensa más eficaz contra los vientos consiste en *tutores* ó *rodrigones*: llámense así varas de unos 0^m,18 de circunferencia, cada una de las cuales se hinca por un extremo en el suelo á unos 0^m,40 del pie del árbol para no estropear sus raíces, y se apoya por el otro en el tronco, interponiendo un poco de paja; átanse el tutor y el árbol con alambre, atenuando también con paja el roce entre éste y la corteza de aquél. Los rodrigones se alinean como los árboles, y se conservan un par de años.

Á veces, y en particular dentro de poblaciones, se reemplazan los tutores con *armaduras* de madera, que son trípodés con la base superior horadada para dejar paso al tronco.

Se evita que los vehículos estropeen el arbolado, colocando delante guardarruedas ó montones del barro que se extrae del firme.

SECCIÓN TERCERA.

CONSERVACIÓN Y REPARO DE CARRETERAS.

INTRODUCCIÓN.

Consagrada esta sección á exponer los métodos de *conservación* y *reparo* de carreteras, parece oportuno comenzar por establecer la diferencia que hay entre aquellas dos palabras. Debe considerarse que una obra pública cualquiera se halla en estado de *conservación* cuando, satisfaciendo cumplidamente las necesidades para que fué creada, se trata tan sólo de mantenerla en esa situación; si, por el contrario, la obra ha experimentado, por circunstancias diversas, desperfectos de tal entidad que no sea dable realizar, en buenas condiciones, el servicio que ha de prestar, los trabajos indispensables para remediarlos constituirán verdaderos *reparos* ó *reparaciones*. Por más que teóricamente sean admisibles estas definiciones, se echa de ver su escasa utilidad práctica, porque es bien claro que las obras de conservación consisten siempre en corregir defectos pequeños, pero defectos al fin, ocasionados por el mismo uso de las obras ó por influencias extrañas, y se viene á parar á la consecuencia de que la conservación y la reparación no suelen diferir más que en la magnitud de los trabajos á que se refieren, sin que, por otra parte, sea dable precisar dónde concluyen los unos y principian los otros.

No arrojan más luz las definiciones oficiales, como lo demuestra la lectura de la Instrucción de 1.º de Diciembre de 1858, para la ejecución de obras de conservación y reparo de carreteras. No cabe duda de que deberán recibir el último nombre las que se acometan en un camino á fin de habilitarlo para el tránsito, mien-

tras no adquieran el carácter de *nuevas* por su extensión é importancia (Regla 14.^a); pero ya no es tan obvio que se dé igual calificación á los recargos para restaurar firmes deteriorados (Regla 15.^a), pues, como pronto se verá, ese es uno de los métodos de *conservación* para restituir el desgaste á las calzadas de piedra partida. La indeterminación del sentido de las dos palabras se evidencia en la misma regla 15.^a y en la 16.^a, al preceptuar que serán obras de reparación las que exijan las de fábrica y edificios, cuando, *por su entidad*, sean superiores á las de mera conservación.

Basta lo dicho para justificar que se trate á la vez en lo que sigue de los dos grupos de trabajos, á lo menos en lo referente á firmes; pues en cuanto á obras de tierra y fábrica, se habrán de limitar las observaciones que se hagan á las faenas más sencillas y comunes, en atención á que las que no revisten tales caracteres salen fuera del programa adoptado para este libro.

Divídese esta sección en cinco capítulos, destinados respectivamente á las obras de explanación y fábrica, á las de firme, á las accesorias, al avalúo de gastos de conservación, y á la manera como está organizado el servicio en España.

CAPÍTULO I.

OBRAS DE EXPLANACIÓN Y FÁBRICA.

Obras de explanación.—**CUNETAS.**—Es preciso mantenerlas siempre expeditas para asegurar libre salida á las aguas: al efecto, hay que extraer las tierras que, procedentes de los paseos, los taludes de los desmontes ó las cunetas mismas, las obstruyan en parte, así como también cortar la hierba que crezca en el fondo ó las paredes. No basta realizar estos trabajos: á menudo, por la acción de las aguas, se altera el perfil transversal de los desagües y tiene que rectificarse, valiéndose de cuerdas y piquetes para las alineaciones y de niveletas para las pendientes, macizando los huecos con tierra, que se comprime firmemente para que ligue bien con la antigua.

El desbrozo se efectúa con azada, pala inglesa ó rastra de madera ó hierro, y los productos se apilan en los paseos para em-

plearlos cuando convenga en el recrecimiento de éstos, ó se echan en las propiedades limítrofes, si sus dueños lo consienten, como ocurre con frecuencia, por servir de abono, merced á las sustancias nitrogenadas y minerales que encierran, en grado de tenuidad á propósito para ser fácilmente asimiladas.

Á últimos de verano debe prestarse atención especial á las cunetas, á fin de que se encuentren bien preparadas para recibir las aguas otoñales, que suelen ser abundantes en nuestro país. Los peones pueden dedicarse con holgura á estos trabajos en aquella época, porque, conforme se dirá más adelante, el estío no es, por lo común, la estación en que mayores cuidados reclama el firme.

ANDENES Y PASEOS.—Cuando el camino, en vez de paseos ordinarios, tiene andenes algo elevados, la conservación de éstos es sencillísima. Las principales precauciones son que las cortaduras que se hacen para paso de las aguas no se cieguen; que su nivel sea el mismo ó algo inferior al del firme, y que ofrezcan inclinación suficiente hacia las cunetas ó talud del terraplén, según los casos. Se desbrozan, alinean y perfilan con la frecuencia necesaria, debiendo advertir que los productos que se sacan están formados casi exclusivamente de detritos del afirmado, y que podrán utilizarse para recebo, siempre que aquél esté construído con buenos materiales, limpios de materias arcillosas.

En el caso de que los andenes viertan hacia el interior, como las aceras de las calles, se habrán de conservar con esmero los arroyos ó regueros; pero como quiera que de ordinario se empiedran, nada hay que decir en este sitio, pues que más adelante se puntualizarán los trabajos referentes á conservación de esa clase de firmes.

Los paseos ordinarios exigen cuidados más prolijos. Con objeto de que recojan el agua del afirmado, es preciso que su arranque se halle á la misma altura que la arista superior de la caja, y que se mantengan su inclinación transversal y sus alineaciones. Requieren, por tanto, que se les recorte si baja por el desgaste el firme, y que se recarguen ó recrezcan si se han deprimido por el tránsito ó la acción de las lluvias, aparte de rectificar ó alinear sus costados. Además, la superficie ha de ofrecer la tersura indispensable para la rápida evacuación de las aguas, lo que obliga á segar las

hierbas que arraiguen y á hacer desaparecer las huellas que deje señaladas el tránsito.

La mayoría de los trabajos indicados no son urgentes, y deben hacerse en las épocas que lo permitan los más apremiantes, ó sean los del firme.

Las rectificaciones, perfiladuras y recrecimientos, se verifican de manera análoga á la ya conocida para las cunetas; la hierba se corta con azadilla de jardinero.

TALUDES.—Los taludes ó escarpas de desmontes y terraplenes han de conservarse con la inclinación que les corresponda, pues de lo contrario se pueden producir accidentes graves, ya desprendiéndose en los desmontes masas que intercepten la vía; ya separándose en los terraplenes volúmenes, á veces considerables, que lleguen hasta arrastrar parte del firme. Los surcos abiertos por las aguas en las faldas de terraplén se macizan con tierra bien apisonada; operación que debe ejecutarse después de los temporales, tanto porque éstos son los que ocasionan las chorreras, como porque en esas épocas las tierras están húmedas y traban mejor con las postizas que se agreguen.

En cuanto á los desperfectos en los taludes de desmontes, si no pueden corregirse con cunetas de coronación ó escalonadas á lo largo de la escarpa, se recurrirá á revestimientos distintos según los casos. Si los daños no tuviesen por causa acciones superficiales, sería necesario emprender verdaderas obras de consolidación y defensa.

RASANTES.—Ocurre á veces que, por la poca consistencia del terreno ó por asientos naturales de los terraplenes, se hunde la explanación, alterándose el perfil longitudinal. Por lo común, se restablece con ligeros recargos de firme; pero en ocasiones hay que levantar este último, recrecer las tierras, apisonándolas, y tender nuevamente el afirmado.

Obras de fábrica.—En los frentes, y sobre todo en las juntas, se desarrollan á menudo musgos ó hierbas, que se quitan con hoces ó azadillas, para impedir que al crecer las raíces se ensanchen las uniones y se disloquen las fábricas. Por las mismas vegetaciones, por choques ó por heladas, suelen asimismo descarnarse las juntas, conviniendo en tal caso acabar de vaciarlas y cojerlas con argamasa nueva.

En las obras que salvan corrientes de agua, debe cuidarse de que los cañones estén limpios y desembarazados: las de poca luz y longitud pequeña se desbrozan con pértigas ó azadas de mango grande; si las obras son largas, ya se dijo (pág. 63) que hay que darles como sección mínima la necesaria para que pueda recorrerlas un muchacho. También es indispensable reparar los desperfectos que experimenten los encachados.

Las operaciones descritas en los párrafos anteriores se verifican en verano: las primeras por la mayor facilidad de establecer andamios, y las segundas á fin de tener corrientes las obras para las lluvias de otoño. El desbrozo es oportuno hacerlo, además, después de los temporales y crecidas, así como también algo antes de la época de fusión de nieves, que suele ser en nuestros climas hacia los meses de Marzo ó Abril.

Aparte de las obras de que se ha hecho mérito, las de arte exigen con frecuencia reparos de albañilería, cantería, etc., que no pueden encomendarse á los peones encargados de la conservación. Por ejemplo: 1.º, algunas piedras se rompen ó desportillan por ser heladizas ó á consecuencia de choques: á veces no se hace más que disimular la saltadura con betún de cantero; pero otras se impone la necesidad de reemplazar uno ó más sillares; 2.º, prodúcese en ocasiones asientos que deforman la obra y hasta comprometen su estabilidad: la reparación podrá ser importante y requerir quizá el derribo completo de la construcción.

Las alcantarillas, pontones y puentes de fábrica ó metálicos, reclaman á menudo reparaciones de entidad, cuyo examen no puede tener cabida en un Tratado especial de Carreteras.

CAPÍTULO II.

FIRMES.

Se estudiarán con la detención que exige su interés para el Ingeniero de Caminos los medios de conservar y reparar los firmes de piedra partida, y se harán las indicaciones oportunas respecto á empedrados. En cuanto á las demás clases de firmes que se reseñaron en la sección precedente, bastará dejar consignado que se

En las obras que salvan corrientes de agua, debe cuidarse de que los cañones estén limpios y desembarazados: las de poca luz y longitud pequeña se desbrozan con pértigas ó azadas de mango grande; si las obras son largas, ya se dijo (pág. 63) que hay que darles como sección mínima la necesaria para que pueda recorrerlas un muchacho. También es indispensable reparar los desperfectos que experimenten los encachados.

Las operaciones descritas en los párrafos anteriores se verifican en verano: las primeras por la mayor facilidad de establecer andamios, y las segundas á fin de tener corrientes las obras para las lluvias de otoño. El desbrozo es oportuno hacerlo, además, después de los temporales y crecidas, así como también algo antes de la época de fusión de nieves, que suele ser en nuestros climas hacia los meses de Marzo ó Abril.

Aparte de las obras de que se ha hecho mérito, las de arte exigen con frecuencia reparos de albañilería, cantería, etc., que no pueden encomendarse á los peones encargados de la conservación. Por ejemplo: 1.º, algunas piedras se rompen ó desportillan por ser heladizas ó á consecuencia de choques: á veces no se hace más que disimular la saltadura con betún de cantero; pero otras se impone la necesidad de reemplazar uno ó más sillares; 2.º, prodúcese en ocasiones asientos que deforman la obra y hasta comprometen su estabilidad: la reparación podrá ser importante y requerir quizá el derribo completo de la construcción.

Las alcantarillas, pontones y puentes de fábrica ó metálicos, reclaman á menudo reparaciones de entidad, cuyo examen no puede tener cabida en un Tratado especial de Carreteras.

CAPÍTULO II.

FIRMES.

Se estudiarán con la detención que exige su interés para el Ingeniero de Caminos los medios de conservar y reparar los firmes de piedra partida, y se harán las indicaciones oportunas respecto á empedrados. En cuanto á las demás clases de firmes que se reseñaron en la sección precedente, bastará dejar consignado que se

reparan de la misma manera que se construyen, tomando en algunos de ellos ciertas precauciones que se cuidó de exponer al describirlos.

I.—FIRMES DE PIEDRA PARTIDA.

CONSIDERACIONES GENERALES.

Importancia de la conservación de firmes.—La conservación en buen estado de los firmes de carreteras es de suma importancia, no sólo por la comodidad que proporciona á los viajeros, sino muy en especial porque, disminuyendo el esfuerzo de tiro, abarata los transportes, y, por tanto, las mercancías que desde los centros de producción se conducen á los de consumo, ya directamente ó por intermedio de otras vías acuáticas ó terrestres. Este hecho innegable demuestra el interés particular con que los Ingenieros han de mirar esta rama de los servicios que les están encomendados; poco brillante quizá, como decía Dupuit, pero la que más influye en la riqueza pública y la que reclama con mayor energía gestión inteligente, vigilancia continua y minuciosos cuidados. No está de más insistir en este asunto: aun hoy es frecuente oír lamentarse, no al vulgo, sino á personas ilustradas y hasta á algunos Ingenieros, de que se consagren agentes de sólidos conocimientos técnicos á dirigir trabajos tan sencillos como los de *bachear*, ó rellenar de piedra las depresiones de los afirmados, faenas tan elementales que están muy por bajo de la misión elevada que debe reservarse á aquellos funcionarios: los que así se expresan olvidan, como atinadamente manifiesta Durand-Claye, que desde siglos atrás se bachea, pero que apenas hace cincuenta años que las carreteras están transitables, y que, aun en la actualidad, distan en muchos países, y por desgracia es el nuestro uno de ellos, de ofrecer todas las condiciones de viabilidad que cabe exigir. Si la situación ha mejorado; si es de esperar que siga mejorando, débese á los esfuerzos de los Ingenieros, los más eminentes de los cuales no han desdeñado prestar sus valiosísimos servicios á cuestión tan relacionada con los intereses públicos.

Hasta últimos del siglo pasado las carreteras estaban punto menos que abandonadas: no se conservaban, en el sentido estricto de la palabra, y limitábanse los trabajos á rellenar de piedra gruesa las depresiones (baches y rodadas), sin desenlodar previamente, sin cuidar de la trabazón de materiales y sin poner en práctica los medios que la teoría y la experiencia de consuno han demostrado ser adecuados para lograr los fines apetecidos. Como varias veces se ha expuesto en páginas anteriores, los sistemas de construcción y conservación de firmes tienen entre sí íntimo enlace: así se comprende que, al proponer Trésaguet en 1775 nuevas disposiciones para el establecimiento de calzadas, indicase á la vez la necesidad de conservarlas continuamente y de que se designasen peones permanentes que, si bien bajo la dependencia de los contratistas, recorrieran los trozos que se les encomendasen y repararan con oportunidad los desperfectos. No se atendieron, como lo merecían, observaciones tan correctas, y los caminos siguieron en lamentable estado en las naciones más adelantadas, hasta ya entrado este siglo, en que despertaron vivo interés las doctrinas de Mac-Adam: con motivo de éstas abrióse una información en 1818 en el Parlamento británico, é insistiendo el señor Walker en la absoluta necesidad de corregir los defectos en cuanto comenzaran á iniciarse, pronunció la frase de que era preciso *dar la puntada á tiempo, como hacen las buenas amas de casa*; y desde entonces con el nombre de *puntada á tiempo* se conoce en casi todas las naciones de Europa la parte común que tienen los procedimientos modernos de conservación de firmes de piedra partida, esto es, el mantener tersa y perfilada la superficie de rodadura, gracias á trabajos asiduos de limpias y bacheos.

Organización del servicio.—Mas si se han de conseguir buenos resultados, es evidente que no puede prescindirse de tener siempre á mano material y los peones de planta que su empleo exija. La necesidad de estos últimos está reconocida desde fines de la centuria anterior; pero mucho se ha debatido por los Ingenieros hasta qué punto conviene hacer de la conservación un oficio particular: en otros términos, si los trabajos han de efectuarse exclusivamente por peones permanentes, llamados *camineros*, ó si habrán de tener cabida además otros operarios, los *auxiliares*,

cuando las circunstancias lo aconsejen. Como ocurre con frecuencia, se han exagerado en ciertas épocas principios que no son antagónicos y que pueden y deben conciliarse. En los comienzos del siglo presente, ya se ha dicho que todo se fiaba al material, dando escasísima importancia á la mano de obra: algunos años más tarde, en 1834, proponía un distinguido Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas, el Sr. Berthault-Ducreux, que los peones camineros, á las órdenes de *capataces* inteligentes, fuesen los únicos que se ocupasen en el mecanismo de la conservación, rechazando la ingerencia de cualquier otro personal. De adoptar tal sistema, no es posible proporcionar trabajo constante á los camineros, por más que se recurra á hacerles machacar piedra en ciertas ocasiones, pues para ello sería preciso que las faenas de conservación tuvieran una regularidad de que se hallan muy distantes; por otra parte, no hay duda de que para no pocas operaciones no se requiere práctica, y las pueden ejecutar, sin obstáculo alguno, los auxiliares. ¿Qué preparación especial se necesita para llevar en carretillas ó espueñas la piedra amontonada en los paseos al sitio en que se ha de emplear, para efectuar el desbrozo de cunetas, para recoger detritos, etc.? Otro Ingeniero de Puentes y Calzadas, el Sr. Vignon, en una nota publicada en 1837, llamaba discretamente la atención sobre este punto, expresando sus temores de que el número excesivo de camineros resultara contraproducente por el aumento de gastos que ocasionaría; y como al fin había de suceder, ha prevalecido el sistema racional de proporcionar la mano de obra permanente á las exigencias ordinarias de la conservación, admitiendo auxiliares siempre que los hagan necesarios la urgencia ó entidad de los trabajos.

En España el trozo de carretera asignado á cada peón caminero viene á ser de cuatro kilómetros de longitud, y cinco á siete peones constituyen una *cuadrilla*, bajo la dependencia de un *capataz*. Por muchos años, y á imitación de lo que todavía sucede en Francia, los capataces ejercieron dos funciones distintas: la de dirigir y vigilar los trabajos de los peones de su sección, y la de encargarse directamente de un trozo pequeño que pudiera servir de modelo á sus subordinados. El sistema produjo malos resultados, como era presumible, porque en el momento que un operario

ha de consagrarse á ocupaciones de distinta índole, queda abierta la puerta para que cada una de ellas le sirva de pretexto para explicar los descuidos que se adviertan en las demás que le estén encomendadas. Con muy buen acuerdo, pues, se ha prescindido de que los capataces conserven por sí trozo alguno, destinándolos exclusivamente á la vigilancia de los camineros y auxiliares que trabajen en su sección. En lo sucesivo se darán á conocer algunos pormenores relativos á organización del personal; pero lo dicho basta, por ahora, para el objeto.

Desperfectos de los firmes.—Los firmes de piedra machacada experimentan desperfectos por el desgaste de materiales, y por los cambios en la naturaleza del macizo y en la forma de la superficie (1).

Las ruedas de los vehículos y los cascos de los animales aplastan algunas piedras y las transforman en detritos, y comprimen otras que, al tender á hundirse, determinan roces interiores, tanto más enérgicos cuanto menor sea la trabazón del afirmado, formándose así materias pulverulentas que, unidas á las provenientes de la superficie, constituyen el *desgaste*. Se comprende bien que parte de los detritos se incorporará al firme, y que el resto, es decir, el que quede arriba, dará lugar á polvo ó barro, según el estado higrométrico del ambiente, alterándose siempre la naturaleza del macizo. La rodadura se efectuará en una superficie blanda, que forzará á aumentar los tiros, sobre todo cuando sea gruesa la capa movediza. Otras causas producirán efectos semejantes: las nieves, las aguas estancadas en algunas depresiones ó las que no encuentren fácil salida, las sequías prolongadas que desagreguen los materiales, son más que suficientes para destruir la alisadura y compacidad que tanto contribuyen á hacer suave la tracción.

Si el firme no es homogéneo y no se encuentra en todos sus puntos en condiciones idénticas, no se desgasta con regularidad y se deforma, bien presentando depresiones aisladas ó *baches*, bien *surcos* longitudinales, que se convierten en *roderas*, *rodadas* ó *carri-ladas* cuando adquieren cierta importancia, y que siguen la dirección preferente tomada por el tránsito. Los surcos aparecen siem-

(1) Durand-Claye, *Routes*.

pre que la superficie está polvorienta ó fangosa, porque, después del paso de un vehículo, las huellas que dejan sus ruedas ofrecen fondo más resistente, y es inevitable que tiendan á marchar por el carril señalado los carruajes de igual batalla.

De las causas indicadas hay unas, las que producen deformaciones superficiales, que se pueden evitar en gran parte, con el empleo de materiales homogéneos, cuidando de que desaparezcan los gérmenes de reblandecimiento, y, sobre todo, borrando las huellas de los vehículos. Sin embargo, por grande que sea el esmero, nunca se logrará la inalterabilidad del perfil, y será preciso colocar materiales en las partes más asentadas ó deprimidas.

Manteniendo siempre expedita la evacuación de las aguas, regando en épocas de sequía, y en especial extrayendo con esmero la nieve, el barro y el polvo, se aminorarán, hasta donde sea posible, las alteraciones en la naturaleza del afirmado.

Lo que no puede evitarse es el desgaste; y á menos de consumir por completo el capital que representa el firme, es de todo punto indispensable restituirle, en una ú otra forma, el material que le hacen perder los rozamientos superficiales é internos.

Clasificación de los métodos de conservación.—Dédúcese de lo que precede que para asegurar la buena vialidad en un camino frecuentado, como deben serlo todos los del Estado, es preciso sujetarlo á una conservación *continua*. Dos son los objetos que han de perseguirse: 1.º, mantener constantemente la tersura y compacidad de la superficie, para lo cual hay que extraer detritos y nieves, y emplear materiales en baches y rodadas, no consintiendo que los desperfectos adquieran importancia, y dando, en una palabra, *la puntada á tiempo*; 2.º, restituir al firme el espesor que pierde por el desgaste, operación no tan urgente como las anteriores, que puede hacerse en estación adecuada, y que cabe ejecutar por medio de *bacheos*, ó dejando que el macizo se reduzca á ciertas dimensiones, restaurándolo de una vez con la extensión de *recargos*. Los dos métodos de conservación continua tienen común, por tanto, todo lo que se refiere á mantener lisa y unida la superficie, difiriendo en el modo de reponer el desgaste: á continuación se estudian ambos, designándolos con los nombres de conservación *por bacheos* y *por recargos*, aunque se reconozca que

no son rigurosamente exactos, pues siempre hay que bachear para obtener la regularidad del perfil.

No se crea después de leído lo que antecede que se proscribe en absoluto la conservación *periódica*, es decir, el sistema que consiste en no tener operarios permanentes y ejecutar, cuando se haga sentir la necesidad, los reparos oportunos. Claro es que el procedimiento aplicado á vías de mucha circulación y en las pésimas condiciones que se realizaba en el siglo XVIII merece severas censuras; pero, en cambio, bien organizado, es el único razonable en caminos cortos y de escaso tránsito, como son casi todos los de servicio particular. Por ejemplo, suponiendo bien construídos los caminos que desde la calle de Alfonso XII suben á las plataformas ocupadas por el Observatorio Astronómico y la Escuela de Ingenieros de Caminos, como quiera que por ellos apenas pasan más que coches ligeros, y aun éstos en reducido número, podrían transcurrir meses sin que se echasen de menos trabajos de conservación, y sería hasta ridículo pensar en establecer servicio permanente.

CONSERVACIÓN POR BACHEOS.

Se estudiará el modo de conservar la tersura de la superficie y de reponer el desgaste, con lo que se evitará volver á tratar del primer asunto al describir el sistema de recargos. Nada mejor puede hacerse que copiar á continuación varios párrafos de la notable circular dirigida á los prefectos de Francia, en 25 de Abril de 1839, por el entonces Director general de Obras Públicas, documento redactado por el ilustre Dupuit, en que se expresan con claridad las buenas doctrinas. Transcribense asimismo los períodos consagrados á reparación de firmes.

Método de Dupuit.—Dicen así los párrafos más importantes de la circular:

«Supondré primero que las carreteras se hallen en estado normal de conservación, considerando después que necesiten reparos considerables, como ocurre todavía, por desgracia, en numerosos trozos; indicaré en ambos casos los métodos generales que me parecen más á propósito, sin excluir por eso los particulares, ni la multitud de precauciones y cuidados minu-

ciosos que han de poner en práctica los Ingenieros para asegurar la vialidad de las líneas de que están encargados.

»I. CONSERVACIÓN.—Cuando una carretera se encuentra en buen estado; cuando el firme está terso y bien saneado, y, por tanto, sin rodadas, baches, lodo ni polvo; cuando, por último, los paseos y cunetas afectan sus perfiles normales, se puede conservar tal situación, si se emplean procedimientos adecuados, en todas las estaciones y sea cual fuere la entidad del tránsito.

»En un buen sistema de conservación, nunca hay que hacer más que dos clases de operaciones: 1.º, extraer continuamente el desgaste diario, en forma de barro ó polvo; 2.º, emplear los materiales que han de reemplazar á los desgastados.

»Estos trabajos, bien hechos y con oportunidad, evitan los desperfectos, porque los vehículos recorren la vía en todos sentidos, y el afirmado se va gastando paralelamente á su superficie.

»*Extracción de detritos.*—1.º *Polvo.*—Cuando han transitado algunos días los carruajes por una carretera, tal como se ha descrito, si el tiempo está seco, se cubre pronto de una película de polvo, que incomoda á viajeros y caballerías, perjudica á las fincas inmediatas, hace más dura la tracción y se transforma en barro cuando llueve, siendo origen de rodadas y de toda clase de desperfectos. Es preciso, pues, quitar el polvo en obsequio al tráfico y á la buena conservación del camino. Su extracción, lo mismo que la del barro, puede efectuarse con rastras; pero estas herramientas, á causa de las pequeñas desigualdades del suelo, no producen resultados aceptables más que cuando la capa de polvo tiene cierto espesor, es decir, cuando lleva mucho tiempo de ser perjudicial; además, con ellas no desaparecen por completo los detritos. La escoba de abedul es mucho mejor: penetra en todas las desigualdades y partes cóncavas de la superficie, y quita cuanto por su movilidad es inútil y pernicioso. Tan sencilla es la manera de barrer, que no necesita explicarse; sin embargo, no está de más advertir que en tiempo seco y en firmes silíceos no se debe apretar tanto la escoba como en los calizos, á fin de no desagregar muchas piedrecillas menudas de la superficie; en afirmados de aquella naturaleza dan mejor resultado las limpias después de lluvias ligeras.

»Una carretera bien barrida no presenta, al cabo de algunos días lluviosos, el menor vestigio de barro: su superficie está tersa y como satinada, y pocas horas de tiempo seco bastan para que se oree. El polvo absorbe y retiene el agua hasta el punto de que, visitando un camino en las circunstancias indicadas, el grado de sequedad de sus diversos trozos es suficiente para señalar el orden en que se barrieron antes de la lluvia.

»2.º *Barro.*—Si continúa húmedo el tiempo, principia por ablandarse la superficie del firme, que no tarda en cubrirse de lodo, cuyo espesor va aumentando. Es preciso quitarlo en seguida, porque el barro deja visibles surcos, que como son más suaves para la tracción que el resto de la calzada, procuran y logran al fin seguirlos los carruajes, á lo que contribuyen no poco los rebordes ó cordones laterales: si no se tomara, pues, aquella

precaución, las huellas se convertirían en rodadas. Cuidando de desenlodar con rastras se borran los carriles, y los vehículos no pueden menos de abandonarlos; el firme, aunque más blando y fácil de atacar, conserva tersa la superficie: es cierto que cada carruaje marcará su pista; pero será casi imposible que á ella se adapte el siguiente, y, por el contrario, la parte central de sus llantas pasará por donde antes iban los bordes, comprimiendo y haciendo volver á sus posiciones á las moléculas que tendían á levantarse. En suma, no hay desperfectos ni deformaciones por lluvias ó sequías: no hay más que desgaste.

»Acabo de decir que se desenloda con rastra, y es, en verdad, la herramienta más apropiada cuando el barro es espeso; pero si está fluido, la escoba da excelentes resultados, por más que aquél nunca pueda quitarse con tanta perfección como el polvo; y efectivamente, cuando después de lluvias queda seco el tiempo, es frecuente que se forme algo de polvo donde no había barro, mientras que éste no se produce en caminos exentos de polvo.

»Con la extracción continua de detritos puede mantenerse la vía siempre tersa y suave para el tiro, pero se va aplanando, y se llegaría al fondo de la caja si no se reemplazasen los desgastes, operación que constituye el *bacheo* ó empleo de materiales nuevos.

»*Bacheos*.—Los bacheos son necesarios y hasta esenciales; mas no tienen el mismo carácter de urgencia que la limpia de detritos, porque los firmes se consumen con lentitud, y nada importa que si el espesor normal es de 0^m,25, se reduzca, en un momento dado, á 0^m,24, 0^m,23 ó 0^m,22, pues no ejerce el hecho influencia alguna en la tracción, y ningún perjuicio irroga al público. Se escogen, por tanto, para bachear las épocas más adecuadas, que no serán nunca las secas, sino los días lluviosos, porque los materiales que se colocan en firmes duros y enjutos no hacen clavo, y se aplastan sin penetrar en el macizo, mientras que si se emplean en temporadas húmedas y en buenas condiciones, se incorporan sin romperse y molestan poco á la circulación.

»Por tanto, los bacheos deben efectuarse en las circunstancias atmosféricas convenientes, cuando la superficie se haya reblandecido por lluvias repetidas y no sean de temer las heladas. El principio á que ha de sujetarse el caminero en estas operaciones, que hacen algo penoso el tiro en ciertos puntos, es no crear causa determinante para que los carruajes sigan una dirección con preferencia á otra, lo cual no es difícil de lograr si las limpias y barridos se han hecho con esmero, pues entonces no se ven en el fondo ni en los costados largas depresiones que parece exigen bacheos de extensión considerable. Los firmes, cuyos detritos se han quitado continuamente, sólo presentan en su superficie baches pequeños (1), que son muy

(1) Cuando digo que con buen sistema de conservación no hay barro, polvo, *baches*, rodadas ni surcos, no debe atribuirse á estas palabras, excepto á las dos últimas, sentido riguroso y absoluto. Evidentemente, siem-

visibles después de las lluvias, y que, repartidos con irregularidad en todo el ancho, ponen de manifiesto los sitios en que han de emplearse los materiales. Estos baches, de 0m,02 á 0m,03 de flecha en el medio, y que enrasan en los bordes con la superficie primitiva, deben picarse en todo su perímetro para formar una especie de caja; se colocan en seguida los cantos, disponiendo los mayores en el centro y los más menudos en las orillas, y cuidando de que la parte bacheada no tenga arriba de 2 ó 3 metros de largo y uno ó 2 de ancho. Faenas idénticas se ejecutan en todas las depresiones; no obstante, si éstas fueren muchas, no se recargan á la vez: se empieza por las más profundas, y se aguarda á que traben los materiales para bachear otras. De no proceder así, se impondría demasiada fatiga al tráfico en cierta parte de la carretera, y vale más repartirla en período algo largo y no aumentarla en el mismo punto. El caminero no debe, pues, acometer los bacheos desde el origen de su trozo hasta llegar al extremo, sino principiar por donde las depresiones le parezcan más profundas y numerosas, y concluir por las que correspondan á desgastes menores.

»Sería erróneo creer que, cuando se ha bacheado una longitud de 40 ó 50 metros con todas las precauciones reseñadas, queda ya corriente ese trayecto y se puede abandonar para ocuparse en otro. Ésta es la falta más grave, y, por desgracia, la más común que cometen los peones. Aun cuando se hayan llenado los baches, los materiales no están trabados, y los desarreglan y esparcen las ruedas de vehículos y los cascos de las caballerías; es indispensable volverlos á colocar con la rastra, para que las ruedas, al encontrarlos sueltos, no los aplasten. Á pesar del cuidado con que se repartan los bacheos para despistar á los vehículos, acaban siempre por seguir con preferencia una dirección, en la cual aparecen carriles que es urgente borrar sin pérdida de tiempo, haciendo á veces otros bacheos y quitando ó disminuyendo materiales ya empleados, cuando se reconozca que su colocación no es buena, sin perjuicio, por supuesto, de rehacer más adelante el trabajo destruído: es esencial asimismo limpiar el barro que se rezume del firme al penetrar é incorporarse los elementos nuevos; en una palabra, el peón ha de convencerse de que no hay parte alguna del camino que reclame más esmero, vigilancia y cuidados que la recién bacheada, á la cual ha de consagrar atención incesante hasta que hagan clavo los materiales. Sólo entonces terminan las operaciones que, si bien minuciosas, economizan piedra, por la pequeña cantidad de ella que se pierde, y evitan desperfectos de reparación costosa.

»*Cantidad de materiales que debe emplearse.*—Pudiera objetarse que el método expuesto es insuficiente, porque el material consumido en rellenar baches no equivale á los detritos que se extrajeron, y que, por tanto, el espesor del firme irá disminuyendo. Es verdad que así ocurrirá

pre quedará algo de polvo y lodo, pero su espesor no pasará de algunos milímetros; habrá también baches, aunque su profundidad no deberá exceder de tres centímetros.—(Nota de la circular.)

cuando conviniere rebajar el perfil, y hasta cabría disponer las limpias de suerte que desaparecieran las depresiones sin necesidad de bachear; pero bien sencillo es levantar en ciertos puntos el nivel del camino siempre que se desee. La experiencia demuestra, en efecto, que, algún tiempo después de concluido un bacheo, se presentan nuevas depresiones que desaparecen poco á poco por las acciones combinadas del tránsito y la extracción de detritos, y que se pueden aprovechar para nuevos bacheos, repitiéndolos hasta cinco ó seis veces en la temporada de invierno. De aquí se deduce que existen medios de incorporar al firme, dentro de ciertos límites, la cantidad de materiales que se juzgue oportuna. En conservación normal han de compensarse los pesos de las substancias que se introduzcan y de las que se extraigan; pero no es necesario que aquéllas estén constituidas exclusivamente por piedras, porque un firme, por perfecto que sea, contiene muchos detritos, esenciales para rellenar los huecos. Si en un año se han sacado, por ejemplo, 100 metros cúbicos de polvo y barro, el firme no habrá perdido quizá 60 de cantos: por consiguiente, *se puede agregar á la piedra que se emplee cierta cantidad de detritos* (1) que, mezclados con ella y envolviéndola, facilitarán la trabazón, aminorando los movimientos bruscos de los vehículos y los choques de las ruedas con los guijarros. El uso prudente de recebo puede introducir, conforme acaba de verse, economía de entidad en los gastos.

De los pormenores expuestos acerca de las dos clases de operaciones que deben practicarse en la conservación, se desprende que el extraer detritos sólo requiere asiduidad y trabajo, necesitándose inteligencia y práctica para los bacheos. Las faltas que se cometan en los últimos, son siempre de consecuencias graves para el estado del camino y por los dispendios que originan.

El método exige y facilita el empleo de mucha mano de obra.—Condición esencial para el buen éxito del sistema, es disponer siempre de muchos operarios. Una de las dificultades con que se tropezó para su planteamiento, fué que se creía que existían grandes diferencias entre los desgastes en verano é invierno. La extracción continua de detritos evidencia el error, pues está reconocido que el peso del polvo es tan grande como el del barro: se atribuye al invierno el lodo de que se cubre el camino, y en realidad, proviene casi siempre de no haber quitado bien el polvo en verano. El barrido hace desaparecer una de las principales objeciones que se aducían al empleo permanente de gran número de peones, puesto que, además de proporcionar ocupación en el estío, disminuye la del invierno. No deben proibirse, sin embargo, los auxiliares, porque admitiendo la hipótesis, no del todo exacta, de la igualdad de trabajo en ambas estaciones, es necesario compensar con más operarios el menor nú-

(1) Se escribe esta frase con bastardilla, aunque no lo esté en la circular, porque sobre ella ha de llamarse la atención más adelante, y conviene fijarse bien en el principio que se establece.

mero de horas aprovechables en los cortos días de invierno. Por otra parte, circunstancias especiales reclaman aumento de mano de obra en momentos dados, como cuando lluvias continuadas han retrasado las faenas, ó hielos y deshielos consecutivos impiden la completa extracción de detritos: nunca debe vacilarse en facilitar al caminero medios de ponerse al corriente, porque toda demora, lejos de ser económica, se traduce en exceso de gasto.

» Tales son las prescripciones generales para conservar bien las carreteras, sin polvo, barro, rodadas ni carriles; pero no hay que forjarse la ilusión de que, ateniéndose á ellas, no habrá que corregir desperfectos. Por grande que sea la vigilancia ejercida por los peones, como el personal es numeroso y está expuesto á cambios frecuentes, es imposible que dejen de cometerse faltas, originadas por descuidos ó inexperiencia.

» *Desperfectos accidentales.*— Todos provienen de no haber extraído con esmero el barro, de bachear mal ó de no prestar suficiente atención á los materiales empleados. Conforme se ha dicho, la falta de limpias produce rodadas: para que desaparezcan, lo primero que hay que hacer es sacar todos los detritos de la superficie de la carretera, pues ocurre á menudo que la rodada no es más que aparente, y que se reduce á un surco insignificante, en el momento que se quitan los rebordes de barro formados por las ruedas. La colocación de material entre dichos rebordes, como hacen á veces peones poco prácticos, sería una mano de obra inútil, que agravaría el mal, y que sólo se remedia extrayendo con la rastra el barro y las piedras, sin perjuicio de separar éstas más tarde, si se considera ventajoso.

» Cuando, después de extraer el barro, queda todavía una carrilada bastante profunda para que las ruedas no se salgan de ella con facilidad, se llena la depresión de materiales, pero únicamente hasta el nivel del camino, y mejor hasta un poco más abajo, á fin de que no sirva de guía á los vehículos y que las ruedas de los que intentasen contornearla caigan de tiempo en tiempo sobre la superficie del relleno. La dirección que tiendan á tomar los carruajes ha de tenerse asimismo muy en cuenta al bachear, con la mira constante de que al poco tiempo recorran la vía en todos sentidos; más no ha de desconocerse que el sistema exige alguna inteligencia y bastante práctica. Las operaciones deben dirigirlas el capataz, el sobrestante, y á veces el ayudante, pues si la falta es hija de inexperiencia, el que la cometió no sabrá corregirla.

» La causa más frecuente de desperfectos es emplear mal los materiales: acabo de citar un ejemplo; pero un peón poco avezado incurre en otros muchos errores. Encuentra deprimido un costado en 50 ó 60 metros de longitud, é instintivamente se apresura á recargarlo de piedra: los carruajes entonces pasan por el otro lado y dejan carriles que se convierten en rodadas, no tan sólo enfrente del recargo, sino antes y después, en la misma dirección. Para reparar el mal, hay que levantar la piedra mal empleada; llenar las rodadas como se ha dicho, y componer el costado deprimido

por bacheos sucesivos, comenzando por las depresiones de mayor importancia. El recargo general en todo el ancho del firme, ofrece igual inconveniente, porque si al principio no existe motivo para que los vehículos prefieran cierta dirección, el tránsito acaba por crearlo, abriéndose surcos en que la tracción es menos dura y que procuran seguir todos los carruajes.

»No se evita la dificultad dividiendo el recargo en fajas de 7 ú 8 metros, comprendidas entre otras no recargadas, pues las rodadas que se forman en las primeras se extienden pronto á las segundas, y los vehículos dirigidos por estos carriles adoptan la dirección que marcan. Los efectos únicamente desaparecen con la supresión de las causas: no existe otro medio que quitar con rastras los recargos, excepto en los puntos que haya trabado el material.

»No es raro que bacheos bien dispuestos, si se abandonan, originen rodadas, porque, al desaparecer todo vestigio de los que primero hacen clavo, los que quedan sin trabar señalan una vía preferible para el tiro. Los únicos procedimientos para que vuelva la carretera á su estado normal, son reparar la rodada, con sujeción á las reglas establecidas; quitar ó disminuir algunos bacheos, y procurar restablecer la uniformidad de tracción en todo el ancho del firme.

»II. REPARACIÓN DE CARRETERAS.—En lo que precede se ha supuesto que el camino se hallaba en buen estado; pero desgraciadamente hay muchos malos, y es muy común que los Ingenieros tengan que dedicarse con mayor frecuencia á reparos que á conservación propiamente dicha. La situación de los firmes es á veces tan lamentable, que se impone el reconstruirlos por completo; mas aun cuando así no fuere, las reparaciones molestan siempre al tránsito y ocasionan crecidos gastos al Tesoro público. Se empezará por reseñar el método que por lo común se sigue.

»*Inconvenientes del procedimiento ordinario.*—Se levanta el firme antiguo, cuyos productos se criban si están compuestos de materiales mezclados con mucha tierra; se machaca la piedra cuando su tamaño lo exija, como sucede con los cantos gruesos del fondo de la caja; se añaden los materiales nuevos que se necesitan para completar el espesor proyectado, y se extiende luego el firme sobre la caja bien recorrida y perfilada. El menor inconveniente de estas operaciones es su coste, que no baja nunca de 3 ó 4 francos por metro lineal; el más grave, lo que dificulta la circulación y molesta al público. Es indispensable empezar por ocupar el afirmado para desmontarlo y abrir la nueva caja; aprovechar en seguida un paseo para zarandear y partir los materiales antiguos y recibir los que se acopien: á veces no basta el espacio de que se dispone y se utiliza parte del otro paseo, no dejando más que una vía estrecha para el paso de los carruajes; por manera que lluvias insignificantes originan rodadas profundas, en las que en vano se sepultan grandes volúmenes de piedra. Los vehículos no pueden marchar más que al paso, tienen que pararse para los cruces y no es raro que haya que lamentar accidentes; por último, si antes de terminar el reparo principia el mal tiempo, la circulación se hace im-

posible durante meses enteros, con la circunstancia agravante de que esto acontece, por lo general, en caminos antiguos, en que están organizados hace años, muchos y numerosos servicios. Todo se vuelve incomodidades para el público que, con razón, echa de menos el firme malo, y lo sigue echando cuando se le entrega un macizo de 0^m,25 á 0^m,30 de piedras machacadas que han de ser comprimidas y aplastadas lentamente por la circulación, hasta tener una superficie semejante á la primitiva bajo el aspecto del tiro. Si la carretera que se repara por este método es de longitud algo considerable, y las consignaciones de cada ejercicio no permiten concluir los trabajos hasta un período de cuatro ó cinco años, resulta que en tan largo plazo la tracción es penosa en los trozos recién restaurados; difícil y peligrosa en los que se hallen en ejecución, y el tráfico se encuentra expuesto á continuas interrupciones, no estando realmente transitables más que las partes á que no se ha tocado todavía. Con semejantes procedimientos no empiezan á sentirse las mejoras hasta que han terminado por completo los trabajos: dificultades de tanta entidad aconsejan acudir á otros medios sancionados ya por la experiencia.

»*Sistema que debe adoptarse.*—Antes de emprender la reparación de un firme, conviene hacer algunas cortaduras que pongan de manifiesto las capas de que se compone, pues no es extraño encontrar espesores considerables donde no se sospechaba. Esto ocurre de ordinario en tramos horizontales y bajos, en los que el afirmado ha ido aumentando de grueso, bajo la influencia de métodos de conservación, en que el empleo de material se consideraba como reparo y no como restitución del desgaste. Cuanto peor estaba el camino más piedra se echaba, formándose voluminosos macizos de guijarros y tierra, que se desagregaban por la acción de las lluvias más ligeras.

»En tales condiciones, hay que multiplicar en seguida la mano de obra; quitar todo cuanto se encuentre móvil y sin trabar en la superficie, aun cuando hubiese muchas piedras mezcladas con los detritos. Llégase así á una capa algo más sólida; la presión de las ruedas hace salir continuamente grandes cantidades de polvo ó barro, que se extraen á medida que aparecen; se rebajan con el pico las partes salientes, y el firme va saneándose y descendiendo paralelamente á sí mismo. Pero si el perfil es demasiado plano ó no tiene más bombeo que el que convenga, se llenan de cantos las numerosas depresiones superficiales, y estos bacheos contribuyen en alto grado á mejorar el firme; por otra parte, son más fáciles y entorpecen menos la circulación que los que se efectúan en buenas carreteras, porque tardan menos en consolidarse. Después de practicar algún tiempo estas operaciones, se obtiene un suelo duro, terso y suave para el tiro: á fin de darse cuenta de lo que ha pasado, háganse nuevos cortes y se verá que el firme está constituido por una capa de 5 ó 6 centímetros, perfectamente sana, que descansa en el macizo antiguo. Aquel lecho no exige más grueso, porque es el único que aprovecha la rodadura, y con buen sistema de conservación los desperfectos no deben llegar nunca á mayor profundidad;

por otra parte, nada se opone á ir aumentando poco á poco el espesor con los bacheos de invierno.

»El método descrito se aplica también á las carreteras desgastadas. Por bacheos se consigue afirmar suficientemente el terreno natural, y claro es que con más facilidad se alcanzará el resultado sobre un macizo ya trabado. De esta suerte se realiza asimismo la ventaja de proporcionar el grueso á la naturaleza del terreno: donde las depresiones sean más numerosas, donde se hunda el firme, se emplearán más materiales y se aumentará, por tanto, la altura del afirmado.

»En carreteras antiguas, de cuyo firme no queda más que el cimientó de piedras gruesas, suele ser todavía más acentuada la tendencia á emprender la reconstrucción total: se cree que los bacheos con piedras menudas son inútiles, porque éstas, colocadas entre el yunque y la maza, se aplastarán en seguida. El razonamiento sería exacto para un canto aislado; pero deja de serlo para el conjunto de los que llenan cada una de las depresiones, porque si bien es cierto que nada hay tan desigual y áspero como estos firmes cuando por ellos se ha efectuado el tránsito algún tiempo, no lo es menos que las desigualdades son por todo extremo favorables para ligar guijarros pequeños. De consiguiente, en lugar de levantar el firme antiguo, no debe hacerse más que machacar, en el sitio que ocupen, las piedras más salientes, esto es, las que producirían calaveras, á no tomarse esta precaución; se aprovechan luego las épocas lluviosas para bachear con las prescripciones ya marcadas; los materiales traban perfectamente, y de esta suerte se va reparando la calzada sin incomodar lo más mínimo al tránsito.

»Las principales ventajas del sistema consisten en que la transformación es general, inmediata y progresiva, pues desde que comienzan los trabajos va mejorando el firme en toda su longitud, sin empeorar antes, como sucede en el método ordinario; en que las obras no molestan al público, y en que el gasto se reduce muchísimo, porque no sólo no se destruye nada, sino que se utiliza lo hecho. Los firmes no deben reconstruirse más que en el caso de ejecutar trabajos de explanación para modificar el perfil longitudinal.

»RESUMEN.—Los procedimientos de conservación y reparo de firmes que acabo de exponer, pueden resumirse en las reglas siguientes:

»Para que no haya polvo ni barro en una carretera, hay que extraerlos á medida que se forman.

»Para que no se presenten rodadas, es decir, para que los vehículos no sigan siempre el mismo carril, es preciso que puedan circular con comodidad por todo el ancho del afirmado.

»Para que los firmes no aumenten ni disminuyan de grueso, todo se reduce á restituirles, por bacheos, el equivalente exacto de lo que se extrae de ellos en las limpieas.

»Principios tan sencillos y evidentes bastaría enunciarlos, si no se tratase de cuestión tan interesante para el público como lo es el mejorar la

vialidad en las carreteras, circunstancia que justifica las explicaciones y detalles en que he entrado.»

Los párrafos que preceden están tan bien razonados, que huelga todo comentario; sólo se harán dos observaciones:

1.^a La necesidad de extraer los detritos con el mayor esmero posible, lo cual se logra únicamente con escobas para el polvo y el barro, en cierto grado de fluidez este último, no admite discusión. Sin embargo, por lo común, no se barren las carreteras en España, y hasta hay quien pretende que vale más dejar el polvo y el lodo, si no se tiene piedra á mano para bachear en seguida, como si las presiones no se transmitieran á través de esas masas incoherentes, y como si no constituyesen siempre molestias para los transeuntes y aumentos en los gastos de tracción. Seguro es que mientras no se adopte el sistema de barrer los caminos, como se ha adoptado ya en las calles afirmadas con macádam, será quimera pensar en que aquéllos satisfagan cumplidamente á su objeto, ni se abaratarán, hasta donde es factible, los transportes. Mas no se crea que la oposición al barrido sea peculiar de nuestro país: refiere Debauve que cuando hace cincuenta años se vió en Francia armar de escobas á los peones camineros, el público soltó la carcajada; pero reconoce que si hoy dejaran de barrerse los firmes, sobrevendría un clamoreo general. La consecuencia lamentable que de todo ello se desprende es que, á lo menos en conservación de carreteras, vamos medio siglo á la zaga de nuestros vecinos, hecho tanto más sensible cuanto que tan fácil remedio tiene, y que, según se ha indicado en la sección segunda de esta obra (pág. 85), España no vaciló en aplicar desde luego, en la centuria anterior, los perfeccionamientos planteados en Francia por Trésaguet, y hubiera sido sencillo no estacionarse y seguir la marcha progresiva marcada por las naciones de mayor cultura.

2.^a Insiste mucho Dupuit, y con razón, en que la humedad es elemento indispensable para que los bacheos hagan clavo; pero entiéndase que no es necesario, ni siquiera conveniente, aguardar épocas lluviosas cuando se puede regar á poca costa, ya por tener agua á presión, como suele suceder en las calles, ya por contar con pozos bastante próximos para que no resulte oneroso el em-

pleo de cubas de riego. Claro es que los casos citados son excepcionales, y que en la mayoría de ellos hay que admitir sin restricciones la doctrina de Dupuit.

Otros métodos de bachear.—**SISTEMA DE DUMAS.**—En una Memoria publicada por Dumas en 1841, se muestra en un todo conforme con lo que precede respecto á la urgencia y modo de extraer detritos; pero difiere algún tanto en la materialidad de hacer los bacheos, pues defiende que se apisonen, partiendo, por supuesto, de la base de que el tiempo esté húmedo ó se rieguen los materiales. Esta pequeña modificación es muy acertada, por más que la censure Debauve, pues salta á la vista que de esa manera trabarán antes las piedras, los desperdicios serán menores, y el sobreprecio del apisonamiento quedará compensado con la economía de material, la que se realiza en la vigilancia que por mucho tiempo reclaman los bacheos ordinarios y la reducción del período en que las obras del firme molestan á la circulación. De esta misma opinión era el general inglés Burgoyne, que en 1847 expresó su idea de que el procedimiento de Dumas era el mejor y más barato. Añadía que no se olvidase que al pasar de una carretera mediana á otra buena, se reducían en 20 por 100 los gastos de tiro, disminuyendo también los desperfectos de las garniciones y vehículos, y que estas economías, muy crecidas si se aplican á la masa de transportes, se logran con ligeros aumentos en la mano de obra de conservación, y á veces con sólo una buena repartición de gastos. Legisladores é Ingenieros debieran reflexionar sobre este punto.

SISTEMA DE MONNET.—Tiene por objeto acelerar la trabazón de los bacheos, y se aplicó algún tiempo en el Jura. Los materiales de conservación se clasifican, cribándolos, en tres categorías: compréndense en la 1.^a, los cantos de más de 0^m,03 de dimensión máxima; en la 2.^a, los que tienen de 0^m,015 á 0^m,03, y en la 3.^a, los más menudos. Cuatro ó cinco volúmenes de las piedras mayores se baten con una de recebo ó de detritos del firme, la cual se ha regado y amasado previamente hasta formar una pasta uniforme; la mezcla se hace lo mismo que la de la piedra y mortero en el hormigón, es decir, que se remueve con rastras ó palas hasta que cada guijarro quede envuelto por el ba-

ro. El bache se descarna á pico, como de ordinario; se riega el fondo, pero sin que quede agua estancada, y en seguida se echa el aglomerado, igualándolo con pala ó azada y comprimiéndolo con pisones de 12 á 15 kilogramos. Agréganse luego piedras medianas, que se riegan sin enlodarlas y se apisonan, de suerte que penetren como cuñas en los huecos del macizo: si no se introducen todas, se quitan las que sobren. De igual manera se procede con la *almendrilla* ó material menudo; por último, se extiende un poco de recebo y se apisona otra vez.

Los bacheos resisten desde luego á los cascos de caballerías y ruedas de vehículos, y no necesitan vigilarse más que uno ó dos días, durante los cuales se reparan con pisón y algo de detritos las grietas, surcos ó cualesquiera otros defectos que se presenten.

La ventaja que casi todos los autores atribuyen á este método de que permite bachear en las cuatro estaciones, con tal de que no hiele y de que se disponga de agua, es por todo extremo ilusoria, pues es evidente que, en semejantes condiciones, sucede lo propio con los demás sistemas.

Por otra parte, el de Monnet exige mano de obra tan considerable; tanta inteligencia y habilidad en los peones para graduar las cantidades de agua y recebo que se han de mezclar con la piedra (las cuales varían con las circunstancias atmosféricas), y para el empleo de materiales, que no se ha extendido y ha dado malos resultados casi siempre, incluso en París, donde se ensayó. Á lo sumo será aplicable, como indica Durand-Claye, á algunas reparaciones que hayan de ejecutarse en verano.

Dos advertencias para terminar la exposición del sistema: 1.ª, no puede admitirse cuando la piedra es silíceo y áridos los detritos, á menos que se agreguen al aglomerado arenas calizas ó margosas, que frecuentemente salen á precios elevados; 2.ª, el inventor intenta demostrar que su procedimiento se distingue de los demás por lo económico: después de la simple enumeración de los trabajos que exige, es ocioso detenerse á impugnar el aserto.

Extracción de hielo y nieve.—No basta extraer el polvo y el barro, como repetidamente se ha dicho: es preciso también en muchas localidades, durante los meses de invierno, quitar el hielo y la nieve.

Si el camino está bien conservado, las aguas encontrarán siempre fácil salida, y no es posible que se forme más que una película de escarcha, suficiente, sin embargo, para que resbalen las caballerías, sobre todo en tramos de cierta inclinación, y para que se desagregue el firme. Remédiase con facilidad suma, echando con palas arena ó detritos provenientes del firme: pudieran también emplearse con igual objeto cenizas, aserrín, tanino ú otras sustancias análogas que abunden en la localidad. Pero si, á consecuencia de charcos en depresiones descuidadas del camino, la capa de hielo adquiriese algún espesor, no debe prescindirse de romperla con azada ó zapapico, según su dureza.

Cuando el suelo se cubre de nieve, la circulación es difícil, y hasta llega á hacerse imposible si aquélla alcanza espesor considerable. En tales circunstancias, es preciso que desaparezca en seguida: al efecto, se reúnen el capataz y peones de la cuadrilla y los auxiliares indispensables, y proceden á quitarla empleando escobas ó palas, si la nieve es pulverulenta y no excesivo el grueso de la capa: el uso de las últimas herramientas citadas es general en España, y de ahí los nombres de *espaleo* y *paleo* con que se conoce la operación. Para que el tránsito se interrumpa por poco tiempo, se empieza abriendo una calle de unos 2^m,50 de ancho, en especial si la nieve es muy compacta y espesa: en tal caso no podrán emplearse escobas, y habrá que acudir á palas ó rastras de madera ó hierro.

En las comarcas en que abundan las nieves, como sucede en el paso de divisorias elevadas, se usan medios más rápidos, disponiendo bastidores triangulares de piezas ensambladas en forma de V, que se llaman *arados* (1). Se arrastra el aparato con la punta hacia adelante, consiguiéndose así que á derecha é izquierda se vaya reuniendo la nieve en cordones continuos, dejando una vía de ancho igual á la separación de los costados laterales del arado. Cárgase éste de piedras en cantidad adecuada para que no se levante por la resistencia que tiene que vencer, ni estropee el firme. La tracción se hace á brazo ó con bueyes ó caballerías, según el peso de la herramienta y la compacidad de la nieve.

(1) Durand-Claye, *Routes*.

Otros trabajos de conservación.—**RIEGO.**—Á pesar de lo que convienen los riegos, sobre todo en verano y en épocas de sequía, no es común en el servicio general de Obras públicas disponer, en circunstancias económicas, del agua necesaria, como no sea en el interior ó proximidad de poblaciones. Sin embargo, cuando se pueda, no debe prescindirse de dar los riegos necesarios, que son en número variable, según las condiciones climatológicas y la naturaleza del firme, pues es sabido que el material silíceo tiene más tendencia que el calizo á desagregarse.

Para regar se usan regaderas, cubas ó bocas y mangas: estas últimas exigen que haya agua á presión, y no es frecuente que se adopten más que en calles ó paseos canalizados. Las regaderas hacen costosísima la operación, pues un peón sólo riega con ellas una superficie de 320 á 400 metros cuadrados por hora: no son admisibles más que para ciertos trabajos, como bacheos. Á riego de carreteras se aplican, por lo general, cubas de un metro cúbico de capacidad, que pueden vaciarse tres veces por hora, y cubrir en esta unidad de tiempo unos 7.200 metros cuadrados; existen dos tipos principales de cubas: las de madera y manga de cuero, que son baratas, pero requieren un peón menor, además del carretero, y las de palastro, en que el agua sale por un tubo horizontal y curvo, agujereado, cuya comunicación con el depósito se abre ó cierra por un sistema de palancas que se maneja desde el pescante. Las cubas se arrastran por una ó dos caballerías, según la inclinación de las pendientes.

Se ha ensayado en calles y carreteras reemplazar los riegos con la extensión de sales delicuescentes (cloruros cálcico ó magnésico), que se apoderan del vapor de agua de la atmósfera y mantienen algo húmedos los firmes. En París se preparaba una disolución concentrada de cloruro de magnesio, producto barato por ser residuo que se obtiene en la fabricación de la sal común, y se vertía con cubas sobre el firme, á razón de medio kilogramo por metro cuadrado: el efecto duraba tres días, si bien era preciso dar de cuando en cuando algún riego ligero.

Método análogo siguió el Inspector general de Puentes y Calzadas, Sr. Lechallas, en las carreteras del departamento del Sena Inferior, bastando tres riegos de cloruro cálcico en Junio, dos en

Julio y uno en Agosto para conservar en aquella localidad suficientemente húmedos los firmes.

El uso de sales no se ha extendido, porque el método sale caro, y además porque la absorción del agua del ambiente es á todas luces antihigiénica.

APISONAMIENTO.—Algunos firmes, como los que descansan en subsuelo cretáceo, se desagregan y levantan en las épocas de deshielo. Combátese la tendencia comprimiéndolos con pisones de unos 12 kilogramos de peso las veces que sea indispensable para que el macizo se asiente.

CONSERVACIÓN POR RECARGOS.

Exposición del sistema.—Bien pocos renglones bastan para dar cuenta del sistema, que se reduce: 1.º, á conservar la tersura de la superficie por los procedimientos ya conocidos, esto es, por la extracción continua de detritos y los bacheos estrictamente necesarios para que desaparezcan las depresiones que, por causas ya puntualizadas, se formen en la superficie; 2.º, á no bachear para reponer el desgaste, sino dejar que el firme descienda paralelamente á sí mismo, y restituir luego el espesor por medio de un recargo, que se ejecuta como si se tratase de una obra nueva, con la única precaución de picar la base en que ha de descansar, á fin de que las dos partes traben con facilidad.

Como la manera de proceder se ha explicado hasta en sus más pequeños pormenores, no hay para qué insistir en el asunto; pero sí conviene hacer algunas advertencias.

ESPESOR DE LOS RECARGOS.—Refiérese la primera al espesor que habrá de darse al recargo; en otros términos, hasta qué punto convendrá dejar que se consuma el firme antes de restituirle el desgaste. Nada concreto puede establecerse respecto de este particular, porque la resolución del problema depende de las condiciones especiales del afirmado y de los medios de consolidación de que se disponga. Es evidente que el macizo habrá de contar siempre con dimensiones sobradas para que no haya temor de que se hunda bajo la acción de las cargas más fuertes que transiten por la vía. Si sólo circulan vehículos ligeros, bastará un espesor in-

significante: á 0^m,03 ó 0^m,04 se había reducido el del firme del paseo de coches del Retiro, cuando se recargó hace unos cuantos años; pero en calzadas sometidas al tránsito de carruajes muy pesados no se puede llegar á aquel límite, en especial si el subsuelo no es resistente, y será oportuno recargarlas en cuanto el grueso sea de 0^m,08 ó 0^m,10.

Por otra parte, es sabido que los rodillos ordinarios movidos por fuerza animal no transmiten las presiones á profundidad superior á 0^m,10 ó 0^m,12, circunstancia que determina el grueso máximo de los recargos, si se consolidan con aquellos aparatos. En cambio, los de vapor comprimen firmes hasta de 0^m,25, y por consiguiente, cuando haya posibilidad de emplearlos, será económico no recargar ínterin el adelgazamiento no comprometa la estabilidad de la capa.

En suma, como en el servicio de carreteras no es frecuente contar con cilindros de vapor, los recargos no deberán pasar de 10 ó 12 centímetros de grueso, y esto en el caso de que las pendientes permitan usar rodillos relativamente pesados, pues si la consolidación ha de hacerse con pisones ó cilindros pequeños de piedra, no deberá pasar el espesor de 0^m,06 á 0^m,08 (pág. 108).

MEDIOS QUE HAN DE EMPLEARSE PARA NO INTERRUMPIR LA CIRCULACIÓN.—La diferencia esencial que existe entre la construcción de firmes nuevos y la de recargos en el sistema de conservación, es que en este último caso hay que atender á que no se interrumpa el tránsito por la vía. Lo más común es dividir el recargo en dos ó tres zonas, según la anchura del camino, dejando expedito el paso por un costado, lo que si bien resulta molesto, constituye incomodidad leve, por la rapidez con que se llevan á cabo los trabajos, sobre todo, si se escoge estación oportuna ó se dan riegos abundantes. Es cierto que en carreteras estrechas es difícil, y aun imposible, que quede espacio libre para el movimiento; pero el tránsito por ellas es casi siempre exiguo, y entonces no suele ser ventajoso el sistema que se describe, como muy pronto se verá, y, por otra parte, podría apelarse á que la circulación siguiera efectuándose por toda la anchura, á pesar de los perjuicios que resulten para el tráfico y las mismas obras; ya se dijo en la sección segunda que no es raro tener que adoptar este método en trabajos

de nueva construcción, y con mayor motivo puede admitirse en los de conservación, que son accidentales y se ultiman con brevedad.

Conservación de calles.—Las calles afirmadas con macadam se conservan por el sistema de recargos, á lo menos en poblaciones de alguna importancia, lo que se justifica por el considerable desgaste que experimentan, á causa de la circulación activa á que se hallan sometidas (1). En semejantes circunstancias, los bacheos para mantener el espesor, habrían de ser numerosísimos, resultando molestias sin cuento para el tránsito, y notorio aumento de gastos por las condiciones desfavorables en que tendrían que efectuarse los trabajos. Á primera vista, no obstante, pudiera juzgarse exagerado el aserto, por creer que, aunque sea grande la circulación de vehículos por las vías urbanas de capitales, aquéllos son coches ligeros en su inmensa mayoría, y no producirán desgaste de entidad en los afirmados. Nada más erróneo: por las calles transitan muchos carruajes pesados, como los que transportan materiales y artículos de consumo; camiones que llevan mercancías muy diversas desde las fábricas ó las estaciones de ferrocarriles á los domicilios de los destinatarios; ómnibus que, si bien no de mucho peso, ocasionan desperfectos graves al arrancar las caballerías después de cada una de sus frecuentes paradas; tranvías, cuyos tiros producen aún daños de más consideración, en especial en los tramos de inclinaciones fuertes, etc. Si á todo ello se agrega que, al revés de lo que pasa en las carreteras, el tránsito aumenta en las calles en épocas de lluvia, en las cuales son más sensibles en los firmes los efectos del roce, se comprenderá bien que no es preciso buscar ejemplos en Londres, París ó Nueva York, para encontrar vías cuyos afirmados se desgasten más de 0^m,04 al año.

(1) Hasta ahora no se han hecho en España trabajos estadísticos sobre este particular; pero se comprenderá la frecuentación enorme de algunas vías, con los siguientes datos, relativos al número de caballerías que pasaron, por término medio, por ciertos puntos de París, durante veinticuatro horas, en los siete días seguidos en que se hicieron observaciones en el año 1881.

Calle de Rívoli.....	42.035
Avenida de la Ópera.....	36.158
Puente Nuevo.....	24.637

Por bacheos se conservaron las calles de París durante algún tiempo; mas á pesar de cuantas precauciones se tomaron en la elección y preparación de materiales, hubo que desistir, y hoy se emplea exclusivamente el método de recargos, no sólo en aquella capital, sino en casi todos los centros populosos. Fácil es recargar el firme de grandes arterias sin causar perjuicios considerables al público, si se observan las reglas siguientes: 1.^a, escoger la época en que menor sea la circulación, lo que no ofrece inconveniente, por la facilidad de proporcionarse agua, aunque el tiempo esté seco; 2.^a, emplear los medios más expeditos de consolidación, debiendo preferirse los rodillos de vapor; 3.^a, hacer que en las vías de afirmados mixtos se verifique el tránsito por las zonas en que aquéllos no sean de piedra machacada, siempre que tengan ancho suficiente para no causar perturbaciones graves al movimiento; 4.^a, dividir el recargo en dos ó tres zonas, en sentido de la latitud, como se ha indicado para las carreteras, cuando todo el firme sea de la misma naturaleza. En calles anchas este último método no presenta dificultades; y respecto de las estrechas, ya se dijo (pág. 118) que el pavimento de piedra partida no era á propósito, por la imposibilidad de conservarlo bien; sin embargo, si por excepción se hubiese afirmado así alguna vía de anchura escasa, no habría más remedio que recargarla por trozos pequeños, prohibiendo el tránsito sucesivamente entre dos bocacalles inmediatas, como se practica al reparar los empedrados.

En el período que media entre dos recargos, se conserva la tersura de la superficie por idénticos medios que en las carreteras; pero procurando que los trabajos que molesten al público se hagan en las primeras horas de la mañana, antes de que el tráfico sea grande. Esta advertencia es aplicable sobre todo á los bacheos, que conviene ejecutar transportando temprano la piedra partida al sitio en que ha de emplearse, desde los depósitos en que se tenga almacenada; picando y limpiando las depresiones con el esmeró que sea compatible con la cuantía de la frecuentación; introduciendo los guijarros y el recebo, y apisonando para acelerar la trabazón, después de regar si la sequedad de la atmósfera lo requiere.

La limpia continua es aún más necesaria que en las carreteras,

advirtiendo que siempre cabe efectuarla con escobas, porque si el barro adquiere cierta consistencia, se puede reblandecer con riegos. Los detritos se barren hacia los arroyos, desde los cuales se dirigen á los sumideros de alcantarillas con las mismas escobas ó con chorros de agua á presión.

Por último, los riegos son indispensables siempre que el tiempo no esté lluvioso, so pena de que el polvo incomode á los transeuntes; ha de procurarse mantener cierta humedad en el suelo, pero huyendo de que sea excesiva, porque en el momento que se abusa del agua se forman barrizales tan perniciosos ó más que el polvo, como se observa en Madrid, donde es ya costumbre antigua encharcar las calles. Los riegos se dan atornillando las mangas á las bocas, y acudiendo únicamente á cubas cuando no pueda pasarse por otro punto.

COMPARACIÓN DE LOS DOS SISTEMAS.

Se reseñarán los principales inconvenientes y ventajas de ambos sistemas, procurando no incurrir en las exageraciones de que pecan los violentos escritos de Ingenieros eminentes, empeñados en no reconocer defecto alguno á los métodos que defienden ni circunstancias favorables á los contrarios. La cuestión económica, aunque muy interesante, no lo es tanto como la comodidad del público y la facilidad de la tracción, que se considerarán en primer término.

COMODIDAD DEL PÚBLICO.— En caminos poco frecuentados la conservación por bacheos se efectúa sin molestar mucho al tránsito, porque los vehículos pueden separarse sin dificultad de las depresiones en que se trabaje. Por el contrario, en el momento que el tráfico es activo, las incomodidades suben de punto, con la circunstancia, que ya se hizo notar en renglones anteriores, de que no sólo padecen los transeuntes, sino los operarios, y de que las diversas faenas no se ejecutan con la perfección que fuera de desear. No es esto decir que con el procedimiento de recargos no se moleste al tráfico: los acopios de materiales que ocupan parte de la superficie; el no poder disponer más que de la mitad del afirmado durante la extensión y consolidación, y la contingencia de que

temporales interrumpen los trabajos, quedando mientras tanto el camino en condiciones bien poco á propósito para el movimiento, son hechos efectivos, que describió gráficamente Dupuit en su Memoria de 1855, publicada en los *Anales de Puentes y Calzadas*. Pero no hay que perder de vista que las incomodidades para el público duran meses enteros y en toda la longitud de la carretera con el sistema de bacheos, al paso que con el de recargos se limitan á trozos pequeños, pues que nunca se cilindra á la vez arriba de medio kilómetro, y además las molestias se reducen, en proporciones notables, escogiendo bien la época para recargar y ejerciendo vigilancia asidua para que las operaciones marchen con rapidez.

Bajo el aspecto que se considera, merece, por tanto, preferencia el método de recargos, cuando el tránsito es de cierta entidad, más de 300 *colleras* (1) diarias, según Debauxe; para circulaciones menos activas, son aceptables los bacheos.

FACILIDAD DE LA TRACCIÓN.—Desde este punto de vista no es dudosa la ventaja del método de recargos, pues que por regla general y á menos que se trate de caminos estrechos, como carreteras de tercer orden, los vehículos no pasan por la zona recargada hasta que está bien comprimida, mientras que los bacheos se consolidan por la acción misma de aquéllos. Cabe, por consiguiente, aplicar al caso que se examina los mismos razonamientos que se expusieron (pág. 80) al discutir el sistema de construcción de Mac-Adam, en que se encomendaba al tránsito la trabazón de materiales.

Otro elemento hay que considerar, no obstante, que influye asimismo en la tracción, pues que está íntimamente ligado con que escurran bien las aguas y no se estanquen en la superficie: el perfil transversal. El bombeo se puede mantener con la curvatura conveniente en el método de bacheos, lo que no ocurre en el otro, porque, aun cuando se diga que el firme se va desgastando paralelamente á sí mismo, se echa de ver que la locución no es correc-

(1) Se entiende por *collera* cada buey ó caballería mayor, que tiran de vehículos cargados de mercancías ó de carruajes públicos para viajeros. Como se verá más adelante, se adoptan en Francia coeficientes diversos para reducir á aquella unidad la frecuentación total de una carretera.

ta, en atención á que el desgaste es mayor en el centro, donde el movimiento es más activo, que en los costados. Sucede, por tanto, que en el período que media entre dos recargos, disminuye el bombeo, hasta el punto que no es raro que haya desaparecido por completo y aun que la superficie sea ligeramente cóncava al acometer la extensión del material. Sin negar este extremo, aducen los partidarios de recargos que los bacheos sustituyen partes salientes á las deprimidas.

MATERIAL.—Es común afirmar que para reponer el desgaste se necesita mucho menor volumen de piedra efectuando la conservación por recargos que por bacheos (1), habiendo quien gradúa la economía nada menos que en 25 ó 30 por 100. Fúndanse en que al recargar se añade siempre 25 ó 30 por 100 de recebo (2), de suerte que la piedra sólo contribuye con 15 ó 10 de detritos para rellenar huecos; en los bacheos, agregan, todo el relleno (alrededor de 40 por 100) lo ha de suministrar el material. El argumento carece de base: igual cantidad de recebo puede y debe usarse al bachear que al recargar, y ya lo expresaba así Dupuit en su circular (pág. 195). No es esto asegurar que no se realice con los recargos alguna economía, por el mayor número de guijarros que aplastan

(1) Véase la *Memoria* publicada en 1851 por el Sr. Graeff, Ingeniero jefe de Puentes y Calzadas.

(2) Esta cantidad de recebo es excesiva. En una *Memoria* publicada recientemente por Durand-Claye en los *Anales de Puentes y Calzadas* (Octubre de 1891), manifiesta que la substancia aglutinante no debe pasar de $\frac{1}{8}$ á $\frac{1}{10}$, ó sea del 13 al 10 por 100, del volumen de piedra, porque no se necesita rellenar los huecos más que en la parte superior, á causa de que el resto se va macizando poco á poco por la acción del desgaste. Como después de comprimida la piedra se reducen los vacíos á 25 por 100 próximamente, opina el autor referido que con una capa de recebo de 0m,01 á 0m,015 de grueso, se cementa un espesor de firme de 0m,04 á 0m,06, que es suficiente en la mayoría de los casos. En realidad puede hacerse llegar el recebo hasta el fondo, siempre que sus funciones se limiten á llenar huecos y no quede interpuesto en las piedras, circunstancia que es difícil de satisfacer. No huelga insistir en este punto, que ya se examinó en la página 99.

Por último, es claro que los materiales blandos necesitan menos aglutinante que los duros, porque aquéllos se desportillan y aplastan más que éstos.

las ruedas de vehículos que los rodillos; mas es tan insignificante que no vale la pena de tenerla en cuenta.

La unidad de volumen de piedra machacada puesta al pie de obra sale notablemente más barata en el procedimiento de bacheos que en el de recargos, siempre que se organice bien el servicio. La razón es obvia: por el primer método se requiere, al año y por kilómetro, cantidades exiguas de material, que se pueden subastar por trozos pequeños y en la época en que cesan las faenas agrícolas, después de la recolección; en circunstancias semejantes, los mismos labradores se interesan directa ó indirectamente en la licitación, contentándose, por lo común, con ganar sus jornales y los de los medios de transporte de que disponen. Provincias hay en España en que se hacen los acopios á precios inverosímiles, lo cual jamás se logra en los recargos, en que por la cuantía del volumen y por contratarse con mucha frecuencia, á la vez que el suministro, el empleo del material, la competencia tiene que ser bastante más limitada.

En cambio, la extensión y consolidación son menos costosas en recargos que en bacheos, porque aquéllos se prestan á una organización y vigilancia que es de todo punto imposible establecer en éstos.

En suma, por ambos sistemas se gasta con corta diferencia el mismo volumen de piedra; su acopio es más barato en el de bacheos y más caro el empleo en obra, de suerte que el resultado económico depende de las circunstancias locales.

PERSONAL.—Con el método de recargos se disminuye bastante el personal de peones camineros, pues quedan suprimidos casi todos los bacheos, que son los trabajos que requieren mayor mano de obra en las estaciones en que se ejecutan. Esta ventaja suele ser causa de que la conservación se resienta, por reducir demasiado el número de peones y no contar con los suficientes para extraer los detritos con la rapidez que es necesario, si se ha de mantener el camino en perfecto estado. Sobre este punto conviene transcribir los párrafos siguientes de una Memoria escrita en 1865 por el Sr. Graeff, testigo de mayor excepción, como partidario decidido de los recargos:

«Una de las cosas más difíciles é importantes en materia de conserva-

ción, es el reparto conveniente de gastos entre mano de obra y material; problema que no puede resolverse teóricamente y que hay que fiar á la observación y la práctica local. Los principios del Sr. Berthault-Ducreux y de sus adeptos, exageraron por todo extremo la influencia de la mano de obra, haciendo, en nuestro sentir, que la cuestión éntre en via tan perniciosa como la que seguían antes los que todo lo sacrificaban á la cantidad de materiales.

«Entre criterios tan distintos hay un prudente término medio á que atenerse: para encontrarlo sólo cabe aconsejar á los Ingenieros que estudien concienzudamente las carreteras de que se hallen encargados, dándose cuenta de los resultados en cada año económico y adoptando el reparto que, con el menor gasto posible, conserve mejor el capital representado por los firmes y asegure la vialidad en buenas condiciones, pero sin lujo.»

La manera de organizar el servicio ofrece sin duda mayores dificultades en el sistema de recargos que en el de bacheos, hasta el punto que, según Durand-Claye, defensor también de aquél, es quizá la objeción más seria de cuantas se le dirigen. Los datos que suministran los peones y las observaciones de los Ayudantes ó Sobrestantes permiten con facilidad á los Ingenieros, en el procedimiento de bacheos, conocer las necesidades de cada trozo y la manera de satisfacerlas. Los recargos generales exigen atención más sostenida, por las relaciones que existen entre las longitudes de las secciones en que se divide una carretera ó una red para recargarlas sucesivamente, los espesores de las capas y los períodos que han de mediar de uno á otro recargo en una misma sección. Estos elementos no son arbitrarios: es casi imposible determinarlos con alguna exactitud, y el problema se complica aún más si ciertas secciones se conservan por bacheos, si sobrevienen cambios en las corrientes del tráfico, etc., etc. (1).

RESUMEN.—De lo que antecede resulta que no es dable resolver de plano cuál es el sistema más á propósito para restituir á un firme el desgaste que experimenta. Lo único que parece fuera de duda es que en vías de gran movimiento, entre las que figuran en primer lugar las calles muy transitadas, no son admisibles los bacheos y ofrecen ventajas notorias los recargos, tanto

(1) Véase sobre este asunto la Memoria publicada por Durand-Claye en 1891, de que ya se ha hecho mérito.

para la tracción y la comodidad del público, como en sentido económico. En carreteras de escasa frecuentación, el pro y el contra se equilibran, y no es prudente decidirse por uno ú otro procedimiento sino después de observaciones prolijas en que se estudien á fondo todas las circunstancias locales.

Para terminar el paralelo, no será ocioso advertir que el método de recargos presupone la consolidación artificial, y que cuando no pueda efectuarse ésta por carecer de aparatos; por tratarse de zonas en que las sequías se prolongan á veces años enteros, como acontece en ciertas comarcas de España; por no permitir la inclinación de las rasantes que funcionen los rodillos en condiciones aceptables, ó por cualesquiera otras circunstancias, estará justificado que la conservación se haga por bacheos.

ACOPIOS Y HERRAMIENTAS.

Acopios.—Repetidas veces se ha manifestado en páginas anteriores que para el buen éxito de los trabajos de conservación es requisito indispensable tener á mano la piedra partida necesaria para asegurar la tersura de la superficie y aun para reponer el desgaste si se acepta el método de bacheos.

Á la calidad, preparación y recepción de la piedra se aplican en un todo las advertencias que se hicieron en la sección segunda, al explicar el modo de construir los firmes. El material se deposita siempre en montones de volumen constante, á lo largo de los paseos, excepto cuando se trate de vías urbanas, pues en ese caso hay que almacenarlo en locales á propósito fuera de la población. La costumbre francesa es disponer los montones en forma de tronco de pirámide cuadrangular, á los que se da magnitudes tales que cada uno mida, por lo común, un metro cúbico, si bien á veces, en caminos poco frecuentados, se reduce aquel volumen á la mitad: la recepción se efectúa por medio de plantillas. Este sistema, contra el cual clamaba Berthault-Ducreux en 1834, tiene el defecto grave de que, sobre exigir el gasto de sumas considerables al año, es completamente inútil, porque los montones se deforman en seguida: debe preferirse el que se sigue en España.

Herramientas.—Para que los peones puedan barrer y desenterrar con rapidez, es necesario que estén provistos de *escobas* y *rastras* movidas á brazo ó por caballerías. Conviene consagrar á estas herramientas algunas consideraciones.

ESCOBAS.—Las escobas duras son perjudiciales, sobre todo en firmes silíceos, que con tanta facilidad se desagregan durante las sequías: se ha de barrer con mucha suavidad, no ejerciendo más esfuerzo que el estrictamente necesario para quitar la película de polvo que se forma entre dos barridos, pues en un buen sistema de conservación no es admisible que la capa llegue á adquirir tanto espesor, que no pueda extraerse sino con rastras ó escobas rígidas. Las del comercio son demasiado gruesas, ásperas y pesadas para que produzcan buenos resultados, y sólo serán aceptables en trozos en que se forme mucho barro ó en travesías de pueblos: es mejor que las hagan los mismos camineros con ramas de abedul, retama ó brezo, y en general, con tallos herbáceos, largos, flexibles y resistentes. Las escobas han de tener poco volumen y mango de 2 ó 3 metros de longitud, á fin de que el peón colocado en el eje del camino eche de una vez las barraduras á cada paseo, siempre que el firme no tenga ancho superior al corriente en nuestras carreteras de primer orden: de este modo basta un jornal para barrer 3 ó 4 kilómetros.

Hace años se construyen escobas de cabellera cuadrada (figura 32.^a, lám. 2.^a), hechas con tallos de *piazzava*, llamados con impropiedad *juncos americanos* (1), los cuales se fijan á un travesaño de madera, al que se une oblicuamente el mango. Manéjase la herramienta empujando hacia adelante las barraduras, pero apretando para que el firme no se deteriore.

Tiempo há que se persigue la idea de construir aparatos que realicen el barrido con rapidez y economía, mas hasta ahora el problema no se ha resuelto. Las máquinas propuestas para barrer y recoger al propio tiempo los productos no han tenido buen éxito, y las que se limitan á reunir el polvo ó el lodo en cordones la-

(1) La *piazzava* es una especie de palmera del Brasil, de que se sacan tallos muy flexibles y resistentes, de aspecto parecido á alambres oxidados. Las escobas de este material son algo caras, pero en cambio duran mucho y el trabajo queda mejor terminado que con las comunes.

terales dejan bastante que desear. El modelo más generalizado en la actualidad es el debido á D. Guillermo Smith, que obtuvo privilegio de invención en 1867: se ha usado en Barcelona, Bilbao y Madrid, por más que en este último punto, después de algunos ensayos que luego se reseñarán, no se emplea sino para barrer hojas en el Retiro; en varias capitales de Europa funciona, al parecer, en condiciones admisibles.

Compónese el aparato (1) de un bastidor de hierro *AXBD* (fig. 65.^a, lám. 6.^a) montado en dos ruedas del mismo metal, y en el que está fijo el árbol auxiliar *EF*, paralelo á la escoba; en el extremo de este último va el piñón *E*, que endienta con la rueda cónica *G*, unida invariablemente al eje del carretón. La escoba *MN*, de 1^m,80 de longitud, forma ángulo de 30° con aquél: se halla constituida por un núcleo de madera, en el que se fijan, en dirección de generatrices de helicoides, hacecillos de piazava; las extremidades se enlazan á dos brazos rígidos *IM* y *Nf*, que pueden oscilar respectivamente alrededor de *I* y *f*; además, el *Nf* se alarga ó acorta por un sistema de tornillos, que permite variar la inclinación de la escoba. El movimiento del árbol auxiliar se comunica á éste por una cadena de Galle.

Las dos ruedas del carro son locas, y para hacerlas solidarias con el eje, lo que es indispensable, puesto que la *G* es fija, llevan ruedas catalinas, *RR*, con sus correspondientes uñas.

Á fin de apretar más ó menos la escoba contra el suelo, ó elevarla por completo cuando no ha de trabajar la máquina, los brazos que la sostienen están suspendidos cerca de sus extremos por cadenas, que cuelgan de otros brazos, *HH*, unidos á una barra cilíndrica, *LL*, sujeta al bastidor, y que se mueve por la palanca *Q*. Lleva además la máquina una chapa de hierro, que cubre la parte superior del rodillo: el asiento, *C*, del conductor, y un cajoncito, *K*, para las llaves y herramientas, completan el aparato.

El manejo de esta escoba es sencillo. Colocado el carro en el eje de la vía que se ha de barrer, agarra el conductor la palan-

(1) Lo que se expone acerca de estas escobas se ha tomado de la Memoria escrita en 1886 sobre *Barrederas mecánicas*, por los Ingenieros del Cuerpo D. A. Corral y D. E. Martínez, en aquella época alumnos de la Escuela.

ca *S* (fig. 66.^a) y apoya el pie en la lámina *P*, hasta sacar la extremidad *O* del hueco en que encaja. Una vez conseguido, deja caer la escoba, cuya presión gradúa, haciendo chocar la palanca *QU* con un tope, que puede introducirse en uno cualquiera de los orificios abiertos en el arco *OT*. Dispuesta así la máquina, se pone en movimiento, reuniéndose las barreduras en forma de cordón continuo hacia el borde de la izquierda, en sentido de la tracción. Cuando llega el carro al final del tramo que se limpia, da la vuelta y efectúa el barrido por el otro costado del eje, determinándose dos cordones paralelos que, por pasadas sucesivas, cuando la anchura de la vía lo requiera, se van corriendo hacia los paseos ó cintas de las aceras, recogiendo luego los productos por peones ó arrastrándolos á los sumideros, según los casos. Ha de procurarse que la escoba cubra en cada pasada unos 0^m,40 de superficie ya limpia, para que no quede faja alguna sin barrer; también se ha de cuidar de levantarla, siempre que se dé la vuelta, para evitar el desgaste desigual del rodillo.

La máquina completa pesa 750 kilogramos; y si las pendientes no son fuertes, sólo se necesita para moverla un esfuerzo de 37 kilogramos, inferior al normal que ejerce una caballería.

Los constructores ingleses afirman que esta escoba barre 12.000 metros cuadrados por hora, trabajo equivalente al de 30 peones, y que representa una economía de gastos de 70 á 75 por 100. Según los experimentos hechos en Madrid en 1881, que están conformes con los realizados en el extranjero y en especial en los Estados Unidos, la superficie barrida no es tan considerable como dicen los fabricantes; pero sí puede estimarse en 7 á 9.000 metros cuadrados, según el estado y naturaleza del firme, la inclinación de las rasantes y el tránsito de vehículos durante la limpieza. En cuanto á gastos, resultó en Madrid un beneficio de 50 por 100 respecto á los ocasionados por el barrido á brazo. También se observó que la máquina funcionaba con más rapidez que 10 peones: 6.935 metros cuadrados de firme de macadam, en el Salón del Prado, los barrió aquella en cuarenta y ocho minutos, invirtiéndose setenta por el procedimiento ordinario; la economía de tiempo se eleva, pues, á 31 por 100. Estos guarismos, sin embargo, deben acogerse con reserva, porque no basta un ensayo

en un solo día para sentar conclusiones, que quizá pequen de aventuradas.

El aparato de Smith sirve también, en caso necesario, para echar la nieve á los costados, sustituyendo el rodillo de madera por otro de hierro, á que se sujetan laminillas estrechas de acero, en dirección de las generatrices de un helicoide; entre las ramas de la hélice directriz se fijan púas de hierro, que forman otro helicoide, y si fuese preciso, se dispone un tercero con tallos de palmera brasileña. El rodillo ejerce entonces tres funciones; las láminas de acero cortan la nieve compacta; los garfios la trituran, y tanto aquéllas como los tallos la van reuniendo en los costados.

Á pesar de las ventajas señaladas, las escobas de Smith ofrecen numerosos inconvenientes, que explican el que su uso no se haya entendido. Se procurará resumirlos:

1.º Estas máquinas, como todas las ensayadas hasta el día, no limpian la superficie con la perfección que los barrenderos, y se comprende que sea así, porque el desgaste no es uniforme en toda la extensión de aquélla y se requiere trabajo inteligente para apretar la escoba en unos sitios y aflojarla en otros. Los peones efectúan el trabajo sin dificultad, al paso que las máquinas oprimen el suelo de una manera constante, barriendo mal si la presión es escasa y destruyendo el firme si excesiva.

2.º Cuando el encargado del aparato no lo maneja con esmero, se desgasta irregularmente el rodillo, que toma al poco tiempo forma cónica, y se tiene que reponer en brevísimo plazo. Esta circunstancia no deja de ser importante, pues, aun usándola bien, la escoba sólo dura ciento ochenta horas y su renovación cuesta 70 pesetas.

3.º Los movimientos de la caballería se transmiten al rodillo y producen saltos que dejan algunas partes mal barridas. Este defecto se aminora en las máquinas más modernas del mismo Smith, adaptando una ruedecilla á la parte anterior del carro.

4.º La conservación de todo el mecanismo resulta costosa por las frecuentes manos de pintura que exige el hierro para no oxidarse, y la posición del conductor es tan violenta, que las sacudidas de la escoba lo lanzan á menudo del pescante.

Á fin de que desaparezcan estos últimos inconvenientes, se ha

propuesto en Francia por el Sr. Blot otro aparato en que el bastidor y las ruedas del carro son de madera, material elástico que facilita la buena disposición de las ensambladuras para resistir más tiempo. Lleva el pescante en el centro, y el conductor maneja la escoba sin levantarse, por medio de un manubrio que actúa en un engranaje de tornillo. La escoba propiamente dicha es idéntica á la de Smith, y recibe el movimiento por un engranaje cónico y una junta universal de Oldham.

El Ayuntamiento de Madrid ha adquirido 12 máquinas inglesas de dos ruedas, dos de tres y una de Blot, que exige dos caballerías para la tracción.

Las escobas mecánicas presentan para el barrido de carreteras todos los defectos que se han observado para el de calles, y además la necesidad de emplear un conductor y una caballería, que no siempre se encuentran en el momento preciso. Á pesar de todo, convendría ensayarlas en aquellos trozos que, por su proximidad á grandes centros, tienen circulación excepcional.

RASTRAS.—Cuando el polvo ha adquirido cierto espesor ó el lodo no está bastante fluido para barrerlo, hay que verificar la extracción con rastras. La más sencilla se reduce (fig. 33.^a, lámina 2.^a) á una placa de 0^m,30 \times 0^m,15 de madera ó palastro, unida perpendicularmente al extremo de un mango: la maniobra se hace atrayendo el peón hacia sí los detritos.

Se han propuesto multitud de disposiciones encaminadas á reunir varias rastras sencillas, que permitan desenlodar con prontitud, las cuales pueden estudiarse en las Memorias publicadas en 1842 y 1843 en los *Anales de Puentes y Calzadas*, por los Ingenieros Ducrot y Vignon respectivamente. Pero la más sencilla es la ideada por el Conductor Sr. Marmet, que se reduce á cinco rastras que se solapan y ocupan próximamente un metro: las dos extremas se inclinan hacia adelante y el conjunto forma una superficie cóncava que empuja el barro con el esfuerzo del peón. Cuando la carga es demasiado considerable para hacerla avanzar, el operario levanta las rastras por medio de una báscula, abandona el montón y repite las operaciones. Los detritos reunidos así en montones se cargan en vehículos para llevarlos á los vertederos, ó se depositan en los paseos. De los ensayos hechos en París, en el

boulevard de Italianos, resultó que el aparato de Marmet limpiaba 938 metros cuadrados en el mismo tiempo que se invertía para 350 con las rastras ordinarias (1).

Merece también describirse el *carro desenlodador* de Chardot (2), que se dibuja en las figuras 67.^a y 68.^a de la lámina 6.^a Consta de 30 rastras paralelas, *RR*, que casi se tocan y que se solapan próximamente en la cuarta parte del ancho: cada una va empotrada en una palanca *B*, que puede girar alrededor del eje horizontal *aa*, y todas las piezas *B* están fijadas á una viga *CC*. Mediante esta disposición, se logra que la presión del barro no sea suficiente para levantar ninguna rastra; pero en el momento que cualquiera de ellas encuentra resistencia excesiva, se mueve su palanca, álzase la rastra y vuelve á caer en virtud de su peso, cuando ha salvado el obstáculo: las rastras operan, pues, con independencia y á manera de las teclas de un piano.

La viga *CC* se adapta sólidamente á la parte inferior de un carro de dos ruedas, con cuyo eje hace ángulo de 30°: para sostener la pieza, se coloca delante una ruedecilla de hierro colado *D*, que puede girar alrededor de la línea vertical *dd*, con objeto de facilitar el movimiento en las curvas. Por debajo de las palancas *B* va una pieza de madera *EE*, cogida por dos cadenas, *FF'*, que pasan por las poleas *GG'*, y se arrollan al cabrestante *H*: basta que éste dé algunas vueltas para levantar la vigueta *EE*, y por consiguiente, todas las rastras á la vez, precaución que ha de tomarse cuando el aparato no funcione.

El modo de operar es idéntico al de la escoba de Smith. Los resultados parece que han sido bastante satisfactorios bajo los aspectos de rapidez y economía, aun cuando no es de creer que el trabajo quede tan bien terminado como con las rastras movidas á brazo, por la imposibilidad de proporcionar las presiones á las resistencias.

De todos modos, y sea cual fuere el sistema que se adopte, las rastras requieren que el barro se halle en cierto grado de fluidez;

(1) Debauxe, *Routes*.

(2) Dilschneider y Vionnois, Memoria publicada en los *Anales de Puentes y Calzadas* (1852).

si está reseco ó tan pegajoso que se adhiera á las llantas y arranque las piedrecillas del firme, el medio más económico de desenlodar, cuando se tiene agua á mano, es regar hasta que el barro adquiera la viscosidad á propósito para quitarlo con escobas ó rastras. El procedimiento se aplica raras veces en carreteras, pero es de uso frecuentísimo en vías urbanas.

OTRAS HERRAMIENTAS.—Nada se dice aquí respecto á cilindros compresores, que se describieron en la sección segunda, ni á material de riegos, sobre el cual se consignaron las indicaciones necesarias en la página 204.

II.—EMPEDRADOS.

Entre todos los firmes empedrados, los que exigen conservación más esmerada son los de adoquines, y á ellos en especial se dedicarán algunas consideraciones (1).

Desperfectos en los adoquinados.—Las causas que los producen son las tres siguientes:

1.^a Hundimiento de adoquines aislados por haber cedido el cimientto, por romperse aquéllos ó por desgastarse antes que los demás. El resultado es producirse una ligera depresión que se llena de agua cuando llueve y en la que caen las ruedas, que al chocar determinan movimientos bruscos en los vehículos y estropean los seis adoquines inmediatos al hundido.

2.^a Asientos desiguales de la arena de la base ó del subsuelo, que ocasionan asimismo depresiones más ó menos extensas, desfavorables para el tránsito, y que dan lugar á que las aguas se filtren por las juntas, reblandeciendo el cimientto y destruyendo la fijeza de los adoquines.

3.^a Mayor desgaste de las piezas en las uniones que en el medio: como consecuencia, las cabezas se redondean y el bombeo se acentúa, sobre todo en sentido longitudinal. El movimiento de los

(1) Para la mayor parte de lo que se consigna en este artículo, ha servido de base la obra de Durand-Claye.

vehículos resulta muy fatigoso; el coeficiente de tracción aumenta, y estos inconvenientes son de tanta entidad cuanto mayores los adoquines y las velocidades de los carruejes.

Los desperfectos se reparan *por piezas sueltas, por trozos ó por reconstrucción del empedrado.*

REPARO DE ADOQUINES AISLADOS.—Se empieza por sacar la arena de las juntas del adoquín hundido, valiéndose de la fija (pág. 117) ó de un palo con un largo regatón apuntado, y cuidando de separar con esmero el barro, á fin de que no caiga por las uniones y se mezcle con la arena.

Se levanta en seguida el adoquín, apalancándolo con barras también apuntadas, y se conserva en esa posición acuñándolo ó sosteniéndolo con el pie, mientras se hace bajar la arena con la fija y se añade la necesaria para llenar perfectamente las uniones. Colócase luego el adoquín y se apisona con esmero.

Las operaciones se facilitan mucho si se dispone de agua para verterla en las juntas y que arrastre la arena, hasta el punto de que es quizá el único sistema para que quede bien calzada la base del adoquín.

La recomposición por piezas da mejor resultado, como desde luego puede preverse, con las que tienen forma de pirámide truncada que con las prismáticas: estas últimas se rompen con frecuencia al apalancarlas, en especial si las juntas son estrechas. Los adoquines rotos hay que sacarlos y reemplazarlos con otros nuevos ó relabrados.

El método descrito se aplica también á baches pequeños. Se limpian todas las juntas en unos 0^m,03 y se barre el lodo que salga; levántanse sucesivamente todos los adoquines uno por uno, y se colocan al nivel que les corresponda, según se ha indicado. Cuando la depresión es algo extensa, no debe usarse este procedimiento, por salir muy caro.

REPAROS POR TROZOS.—Consisten en levantar por completo todos los adoquines comprendidos en el bache; quitar la arena de la capa superior del cimientó, que está mezclada con fango, fétido á veces por la putrefacción de materias orgánicas; reemplazar la arena extraída con otra, cuidando de calzar bien los adoquines del perímetro, y, por último, asentar los nuevos, ateniéndose á

las prescripciones que se señalaron al explicar la construcción de estos firmes.

RECONSTRUCCIÓN TOTAL.—Se lleva á cabo cuando todo el firme está en mal estado, aunque también se consideran como reconstrucciones los reparos de trozos que tengan más de dos metros cuadrados de superficie. Por lo común, los adoquines viejos están demasiado bombeados y hay que reemplazarlos casi todos, teniendo cuidado de la uniformidad de tamaños, á lo menos en cada una de las secciones en que se divida el afirmado para la ejecución de las obras.

Materiales.—Los requisitos á que han de satisfacer los adoquines y la arena se puntualizaron en la sección segunda. Se acostumbra aprovechar los adoquines de cabeza redondeada, que se sacan de los baches ó firmes reparados, volviéndolos á asentar, de suerte que aquella cara quede formando la base ó una de las superficies de junta. No debe adoptarse ni uno ni otro sistema: el primero, porque la pieza no resulta bien colocada y tiene tendencia á girar cuando la carga insiste cerca de sus bordes; el segundo, porque da lugar á juntas demasiado anchas. Es mejor hacer saltar la parte redondeada y relabrar el adoquín; pero no por los mismos empedradores que no saben practicarlo bien, y que emplearían piezas de distintos tamaños con grave detrimento del firme, sino por canteros y en talleres especiales, donde se clasifiquen para usarlos más adelante en reparos ó reconstrucciones.

Otros trabajos que reclaman los adoquinados.—**EXTRACCIÓN DE POLVO Y BARRO.**—Los adoquinados producen pocos detritos, porque se desgastan con mucha lentitud. El barro que cubre su superficie procede á veces de la arena que se escapa de las juntas; pero casi siempre lo depositan las ruedas de carruajes que han transitado por firmes de piedra machacada: se quita con escobas, no habiendo dificultad en que éstas sean más duras que las empleadas para el macádam, porque no se corre el riesgo de la desagregación. Como el suelo es homogéneo, las escobas mecánicas pueden recibir aplicaciones ventajosas.

EMPLEO DEL CILINDRO COMPRESOR (1).—En una Memoria pu-

(1) Debauve, *Routes*.

blicada en 1852, el Sr. Quaisain, Ingeniero de Puentes y Calzadas, aconseja que se apliquen los cilindros compresores á la conservación de adoquinados para evitar los efectos desastrosos de los deshielos. Sabido es que el agua que se filtra á través de las juntas se hiela en las épocas crudas de invierno, porque la capa de cimiento no suele tener el espesor de 0^m,45 á 0^m,50 que se necesitaría para substraerla á la acción de los grandes descensos de temperatura: al congelarse levanta los adoquines, que quedan como colgados en el momento del deshielo; poco tiempo después, formando el agua con la arena, y sobre todo con la arcilla que suele constituir el subsuelo, un fango fluido, las piedras nadan en la masa, pierden su estabilidad, y se producen baches y rodadas, por escasa que sea la circulación. Estos efectos, no muy sensibles en la mayor parte de nuestro territorio, lo son tanto en Francia, que en época todavía reciente, en 1852, se dictaron disposiciones para el establecimiento de *barreras de deshielo*, que cerraban por completo la vía al tránsito de vehículos en días determinados.

Semejantes trabas no son aceptables hoy, en atención al desarrollo que han tomado los intereses comerciales, y se recurre á ejecutar en el subsuelo, cuando las circunstancias lo aconsejan, verdaderos avenamientos, y á favorecer por todos los medios posibles la evaporación rápida del agua contenida en el firme.

El Conductor Sr. Coppé ha propuesto que después de los deshielos se compriman los adoquinados, obligando al fango líquido á salir por las juntas. Hízose el ensayo con un cilindro de ocho toneladas de peso, en una carretera que se barrió previamente: un barrendero seguía al aparato y echaba á los costados las materias que se rezumaban. Siete ú ocho pasadas del rodillo bastaron para lograr que los carros más cargados no dejasen huella alguna en el firme, cuya conservación ulterior gana, al parecer, con el cilindrado.

RELLENO DE JUNTAS.—Por último, las uniones que por efecto de riegos, barridos ú otras causas, se descarnan, hay que rellenarlas con arena de buena calidad.

Organización del servicio.—En España, donde apenas hay carreteras empedradas, no ha habido que pensar en el modo de organizar el servicio: en Francia es común ajustar ó contratar

los reparos, si bien en algún departamento, como el del Allier, que posee más de 50.000 metros cuadrados de adoquinados, se ha establecido con buen éxito una cuadrilla permanente, compuesta de un maestro y cuatro oficiales para la mano de obra, acopiándose por contrata los materiales. La cuadrilla recorre las carreteras desde Mayo hasta Octubre, ocupándose en ejecutar todos los reparos necesarios, y en los meses restantes del año se dedica á relabrar adoquines viejos y hasta á preparar algunos nuevos, que se adquieren en bruto con este objeto.

En carreteras empedradas debe haber siempre peones camineros para el barrido y la conservación de obras de tierra, de fábrica y accesorias, asignándoles trozos de longitud adecuada y siempre bastante mayor que la ordinaria en firmes de piedra machacada.

Los adoquinados miden extensas superficies en las poblaciones, y atienden á los reparos cuadrillas ambulantes de empedradores, en número proporcionado al área é importancia de los pavimentos.

CAPÍTULO III.

OBRAS ACCESORIAS.

I. — OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA.

Á la conservación de cunetas de coronación, desvíos de cauces, caminos provisionales y de servidumbre, cercas, pretilos, malecones y guardarruedas, se aplican las advertencias que se han hecho en el capítulo I de esta misma sección, al tratar de las obras de explanación y de arte.

Respecto de postes indicadores, hay que agregar la conveniencia de pintar á menudo los de madera y los números ó rótulos que lleven, tanto aquéllos como los de hierro ó cantería.

Y por último, las casillas de peones, los pozos, fuentes y abrevaderos y otras obras accesorias del camino, se conservan y reparan, ateniéndose á principios que no cabe examinar aquí.

II. — ARBOLADO.

Se estudiarán sucesivamente la manera de defender á los árboles de las influencias dañosas y accidentes á que se hallan expues-

los reparos, si bien en algún departamento, como el del Allier, que posee más de 50.000 metros cuadrados de adoquinados, se ha establecido con buen éxito una cuadrilla permanente, compuesta de un maestro y cuatro oficiales para la mano de obra, acopiándose por contrata los materiales. La cuadrilla recorre las carreteras desde Mayo hasta Octubre, ocupándose en ejecutar todos los reparos necesarios, y en los meses restantes del año se dedica á relabrar adoquines viejos y hasta á preparar algunos nuevos, que se adquieren en bruto con este objeto.

En carreteras empedradas debe haber siempre peones camineros para el barrido y la conservación de obras de tierra, de fábrica y accesorias, asignándoles trozos de longitud adecuada y siempre bastante mayor que la ordinaria en firmes de piedra machacada.

Los adoquinados miden extensas superficies en las poblaciones, y atienden á los reparos cuadrillas ambulantes de empedradores, en número proporcionado al área é importancia de los pavimentos.

CAPÍTULO III.

OBRAS ACCESORIAS.

I. — OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA.

Á la conservación de cunetas de coronación, desvíos de cauces, caminos provisionales y de servidumbre, cercas, pretilos, malecones y guardarruedas, se aplican las advertencias que se han hecho en el capítulo I de esta misma sección, al tratar de las obras de explanación y de arte.

Respecto de postes indicadores, hay que agregar la conveniencia de pintar á menudo los de madera y los números ó rótulos que lleven, tanto aquéllos como los de hierro ó cantería.

Y por último, las casillas de peones, los pozos, fuentes y abrevaderos y otras obras accesorias del camino, se conservan y reparan, ateniéndose á principios que no cabe examinar aquí.

II.—ARBOLADO.

Se estudiarán sucesivamente la manera de defender á los árboles de las influencias dañosas y accidentes á que se hallan expues-

tos, y los métodos empleados para dar á los troncos desarrollo conveniente (1).

DEFENSAS.

Sequedad del suelo.—La sequía, perjudicial á árboles en la plenitud de su vida, lo es mucho más á los recién trasplantados del vivero, que experimentan grandes dificultades para apropiarse la escasa humedad del terreno. Las defensas de mayor eficacia que pueden adoptarse contra influencia tan nociva, son *riegos, binazones, cubiertas y siembras*.

RIEGOS.—Siempre que se disponga de agua, debe combatirse la sequía con riegos oportunos, cuya frecuencia depende de las condiciones locales y de las especies arbóreas, y cuya cantidad ha de graduarse con cuidado, porque tan dañosa como la escasez es la exuberancia de agua. No siendo común en el servicio general de Obras públicas el poder regar sin grandes dispendios, se procura aprovechar, hasta donde sea factible, el agua, ya provenga de riegos artificiales ó de lluvias, haciendo que se prolongue su contacto con el terreno sobre que crece el árbol: á este efecto se disponen las pocetas y regueros de que se habló en la página 179.

BINAZONES Ó BINAS.—Consisten en remover y desmenuzar, en unos 5 centímetros de profundidad, la tierra que rodea al árbol, en cuanto empieza á secarse y presentar grietecillas, usando una herramienta parecida al almocafre. La explicación de la influencia de las binas es sencilla. Á medida que más apelmazada está la tierra, la desunión producida por el calor del sol se extiende á mayor profundidad, porque la yuxtaposición íntima de partículas permite que en el momento que se seca la capa superficial, reponga la humedad perdida á expensas de la inmediata, la cual á su vez la absorbe de la contigua, y así sucesivamente se seca la tierra en espesores muy considerables. Las binazones dejan suelta la capa superior, que perderá su agua con rapidez, pero que no es fácil la absorba de la siguiente por no estar adherida á

(1) Para mayores detalles consúltense, respecto de estos asuntos, las obras sobre *Arboricultura* de los Sres. Du Breuil y Sainz, ya citadas en la sección segunda.

ella: esta última, por otra parte, se seca con bastante lentitud, porque la primera la protege de la acción del sol.

Las binazones, que son de gran utilidad en tierras arcillosas, deben efectuarse después de las lluvias, que hacen adquirir nueva adherencia á la superficie con las capas inferiores: en verano se repiten dos ó tres veces, durante los cinco primeros años de las plantaciones.

CUBIERTAS.—En suelos ligeros ó de consistencia media dan mejor resultado las *cubiertas*, que se forman con una capa de unos 0^m,06 de tallos de aulagas, brezo, retama, etc., sobre la cual se coloca otra de guijarros del grueso del puño, bien unidos entre sí. La base del tronco se protege del roce con las piedras, ocasionado por el viento, rodeándola con un poco de césped ú otra hierba menuda. Los tallos que constituyen la base de la cubierta, no sólo retienen la humedad del suelo, sino que al descomponerse producen excelente abono para las raíces.

PLANTACIONES.—Cuando no se necesite dejar libre el terreno alrededor de los árboles, es mejor reemplazar las cubiertas anteriores con una siembra de aulagas ú otros vegetales análogos de fácil arraigo. Al efecto, después de haber trasplantado los árboles desde el vivero, se extienden las semillas de aulagas en toda la zona, en proporción de 18 kilogramos por hectárea, enterrándolas lo más que se pueda con una rastra dentada. La siembra, cuyo resultado depende de la naturaleza del terreno, se hace generalmente en primavera.

El suelo ocupado por las raíces de los árboles se cubre pronto de ramas de aulagas, que lo defienden de los ardores del sol é impiden que se seque. La experiencia ha probado que estas plantas comunican al terreno más principios nutritivos que los que absorben, porque las hojas secas forman en la superficie, al cabo de poco tiempo, una capa de mantillo de algunos centímetros de grueso.

Á medida que crecen los árboles, les falta luz á las aulagas, que pierden su vigor y no tardan en morir; mas entonces aquéllos proyectan bastante sombra sobre el suelo, el cual no necesita ya otra clase de defensa.

Ardor del sol.—Los arbolitos plantados de asiento quedan aislados y expuestos á la influencia de los vientos y los rayos so-

lares: como consecuencia, el sistema cortical, blando y herbáceo todavía, se endurece, pierde la elasticidad y se dificultan el crecimiento del diámetro y la ascensión de la savia. Á fin de evitar estos inconvenientes y para reducir los efectos de una evaporación demasiado activa en el tronco, se cubre éste, desde que se planta hasta el completo arraigo del árbol, con una lechada de cal, á la que se añade la cuarta parte de su volumen de greda, para que el enlucido resista más tiempo á la acción de las lluvias.

En ciertas localidades se acostumbra envolver el tronco en paja larga, que se sujeta con ligaduras de mimbre; pero este sistema tiene el grave defecto de que suele dar origen á insectos, que atacan las cortezas de los árboles.

Accidentes.—Los principales de que hay que abstraer á las plantas jóvenes son los causados por la malevolencia de los transeuntes, vientos fuertes y choques de vehículos. No hay que agregar nada acerca de estos puntos á lo que se dijo en la sección anterior, páginas 179 y 180.

PODAS.

Consideraciones generales.—Toda operación que tenga por objeto suprimir ramas de un árbol, por inútiles, perjudiciales ó inconvenientes al desarrollo ó dirección que quiera dársele, se llama *poda*. Cuando los árboles, al salir del vivero, se plantan formando macizos, las podas no son necesarias para el crecimiento del tronco, porque las ramas inferiores reciben poca luz, y la acción de la savia se dirige principalmente á la guía y á las ramificaciones más elevadas; de suerte que los árboles, por sí solos y sin podarlos, adquieren troncos rectos, altos, de bastante diámetro y exentos de nudos y ramas gruesas, las cuales arrancan sólo de la extremidad superior para constituir la copa.

Lo contrario ocurre en las filas aisladas de árboles, que adornan los caminos, calles y paseos: los troncos están expuestos á la luz en toda su altura; las ramas laterales se desarrollan con vigor, y la guía, no tan favorecida como en el caso precedente, crece menos, resultando achaparrados los individuos, con notorio perjuicio del ornato y del aprovechamiento de la madera para las

construcciones. Estas ligeras ideas bastan para justificar la conveniencia de podas encaminadas á modificar la acción natural de los jugos nutritivos.

ÉPOCAS EN QUE DEBEN PODARSE LOS ÁRBOLES.—Es ventajoso hacer la primera poda al poco tiempo de arraigar el árbol, porque entonces es cuando más crece y cuando, por tanto, hay que hacerle tomar la forma que convenga; además, si se retrasa la operación, tienen que suprimirse muchas ramas á la vez, algunas de las cuales han adquirido bastante desarrollo y originan heridas extensas, que comprometen la vida del árbol y hacen desmerecer su tronco. Por otra parte, no debe olvidarse que las hojas son los órganos generadores de las raíces; y como quiera que la abundancia de aquéllas determina el desarrollo de nuevas raicillas, tan necesarias para que el árbol se críe lozano, no es oportuno acelerar la supresión de ramas. Se concilian, en lo posible, ambos extremos, efectuando la primera poda cuando los individuos han arraigado por completo, esto es, al cabo de dos á cinco años desde que se plantaron de asiento, según las especies y condiciones particulares.

No basta saber la época adecuada para comenzar á podar los árboles: hay que fijar la duración del período entre podas sucesivas. Casi siempre se deja pasar demasiado tiempo, resultando: 1.º, que en cada una hay que suprimir muchas ramas que ó no hubiesen nacido con podas más próximas, ó que, por lo menos, se habrían cortado antes de absorber savia aprovechable para el crecimiento vertical del tronco; 2.º, que las heridas causadas son extensas, á consecuencia del desarrollo de las ramas; 3.º, que los cortes numerosos originan perturbaciones en la vida vegetal, pues como, por lo común, las raíces más gruesas están situadas hacia el mismo lado del tronco que las ramas de mayor importancia, se echa de ver que al cortar una ó varias de éstas se suprimen repentinamente las funciones de las raíces á que corresponden, muchas de las cuales se pudrirán, paralizándose el aumento de diámetro en la parte del tallo comprendida entre aquellas raíces y las ramas suprimidas. Para evitar ó disminuir tales inconvenientes, es preferible multiplicar las podas, de suerte que en cada una se corten pocas ramas y de volumen exiguo.

Puede aconsejarse la práctica de podar un año sí y otro no, en

los doce primeros: pasado este período, los crecimientos no son tan rápidos, y es suficiente, en los doce ó quince años sucesivos, efectuar podas cada tres. Por idéntica razón, no hay dificultad en que los intervalos sean luego de cuatro años, hasta que la copa adquiera gran anchura y crezca poco en elevación, lo que ocurre de los treinta á cincuenta años de edad, según las especies y vigor de los individuos. Al llegar á esta situación cesan las podas, pues los troncos han alcanzado todo su desarrollo en altura y les son necesarias las ramas para formar copas voluminosas, que les hagan adquirir el mayor diámetro posible.

Según se ha expresado, las podas, al suprimir ramas y yemas, perturban la circulación de fluidos, y, por tanto, procede efectuarlas cuando están en suspenso las funciones fisiológicas, es decir, de últimos de Octubre á mediados de Marzo, prefiriéndose de ordinario el final del invierno, porque comenzando en seguida la vegetación, las heridas están expuestas menos tiempo á la acción desorganizadora del aire. Sin embargo, las coníferas deben podarse en otoño, estación en que abundan menos que en primavera los jugos resinosos.

RAMAS QUE DEBEN SUPRIMIRSE EN LAS PODAS.—La experiencia demuestra que para que el tronco adquiera su máximo desarrollo, en altura y diámetro, conviene que la copa ocupe próximamente la mitad superior de aquél. Si se cortan ramas hasta más arriba, se priva al árbol de órganos generadores de capas leñosas y el crecimiento del diámetro es muy lento, dificultándose á la par el vertical por las muchas nudosidades que impiden subir á la savia, cuya acción se emplea, en gran parte, en las ramas laterales. Si, por el contrario, se conservan bastantes ramificaciones para el aumento de diámetro, pero repartidas en toda la altura, el grueso disminuirá con rapidez desde el cuello al nacimiento de la copa, porque cada sección transversal no puede aprovechar los filetes leñosos formados por las ramas inferiores á ella y sí sólo los que originan las superiores. Los inconvenientes de las dos soluciones extremas se salvan, como se ha dicho, suprimiendo en cada poda cuantas ramas arranquen de la mitad inferior del tronco, en la hipótesis de que se quiera obtener en su día el mejor aprovechamiento posible de la madera, pues si se prescinde de

este aspecto de la cuestión y no se atiende sino al ornato, quizá convenga admitir otro criterio, según se puntualizará muy en breve.

La regla expresada no se aplica á árboles resinosos, en los cuales las podas son casi siempre perjudiciales, porque está comprobado que las ramas, á causa de su pequeño volumen, tienen poca influencia en la rapidez del crecimiento, y el privar á las plantas de órganos nutritivos no produciría, por consiguiente, ventajas sensibles. Por lo común, las coníferas no se podan más que para cortar ramas enfermas, que dejan heridas que se cicatrizan mucho antes que si se aguarda á que aquéllas mueran.

Además de las ramas que se suprimen en los árboles no resinosos, por la simple consideración de la altura á que se encuentran, deben cortarse otras, independientemente de su posición en el tronco. Tales son: 1.º Las *tragonas*, *chuponas* ó *golosas*, que, más favorecidas que las demás, adquieren excesivo desarrollo: con efecto, si se aguardase para podarlas á que estuvieren más bajas, deformarían el tallo, en perjuicio del crecimiento de la guía; darían lugar á heridas grandes y difíciles de cicatrizar, y convirtiéndose su cuerpo central en madera perfecta, en comunicación con la del tronco, no sería posible evitar que la sección puesta al descubierto se descarburara en contacto con el aire, produciéndose la caries, de propagación tan rápida hacia el interior. 2.º Parte de las ramas delgadas ó medianas, que nazcan del mismo punto, á fin de no causar más adelante al tronco una herida demasiado extensa. 3.º Algunas de las que arrancan de la misma altura, formando una especie de corona; procúrase entonces que los espacios entre las que se conserven sean casi iguales: de dejar intactas todas las ramas, aparte del inconveniente señalado respecto á magnitud de heridas, se perjudicaría al crecimiento de la guía, por la detención de gran parte de la savia en su movimiento ascendente. 4.º La ramificación que, situada al lado de la principal, se desarrolla con tanto vigor como ella: es, en realidad, una rama chupona que produciría bifurcación del tronco; se suprimen las tres cuartas partes de su longitud y se sujeta á la guía el chicote que queda, el cual se corta en la poda siguiente. 5.º Las ramas que tienden á inclinar al árbol en dirección determinada;

para evitarlo, se aclaran, conservando desde los primeros años mayor número de ellas del lado de los vientos reinantes que del opuesto.

MANERA DE EFECTUAR LAS SUPRESIONES.—Por las razones ya explicadas, los cortes han de practicarse antes de que las capas centrales se hayan convertido en duramen: si por cualquier circunstancia llegara ese caso, no se puede hacer más que disminuir su vigor, suprimiendo la mitad próximamente y por encima de una ramilla. Cuando alguna rama, sin haberse endurecido todavía, ha alcanzado desarrollo considerable, se corta en dos veces, de manera semejante á la descrita en el núm. 4.º del párrafo anterior, cuidando además de dejar una ramilla cerca del extremo.

Es frecuente conservar en el tronco un muñón de 0^m,16 á 0^m,20, perteneciente á la rama suprimida, práctica que conviene proscribir. Con efecto, el chicote empieza por secarse: á veces se mantiene sin pudrirse, y lo van envolviendo poco á poco las nuevas capas leñosas, formándose un nudo, que empeora la calidad de la madera; si, por el contrario, se pudre el muñón al cabo de algunos años, cuando está ya parcialmente incorporado al corazón, el clavo es de los llamados *de cáscara tragada*, que inutiliza la madera para poder emplearla en construcciones (1).

Tan censurable como la anterior es la práctica de dar el corte tan cerca del tronco, que no sólo resulta una herida de mayor diámetro que la rama, sino que se corre el riesgo de que concluya por descomponerse la albura, que queda al descubierto varios años, y se transmita la pudrición al duramen.

Á fin de evitar las contingencias expresadas y conseguir al propio tiempo que por la superficie del corte escurran bien las aguas, se adopta el sistema de efectuar la sección lo más próxima posible al tronco, pero sin estropearlo, y en dirección perpendicular al eje de la rama, siempre que ésta forme con aquél ángulo recto ó poco agudo, y dar el corte algo oblicuo cuando el ángulo sea muy pequeño. En este último caso, la herida tendrá apariencia elíptica y superficie mayor que la sección recta; mas en cambio su inclinación permitirá que no se estacione el agua, cuya ac-

(1) *Materiales de Construcción*, 2.ª edición, pág. 339.

ción desorganizadora podría comprometer la vida del individuo.

Sea cual fuere el espesor de las ramas, deben practicarse los cortes de modo que no se desgarren las envueltas corticales del tronco, por debajo de los puntos de inserción. Con tal objeto se practica primero una muesca en la parte inferior de la rama, cuya profundidad sea igual al $\frac{1}{4}$ del diámetro, y después otra por arriba, que complete la sección, lográndose así desgajar la porción que va á suprimirse sin que se produzcan accidentes. Separada la rama, se alisa la herida, y á los dos ó tres días conviene aplicarle un unguento para que no quede expuesta á las influencias del aire y la luz: el betún debe emplearse tibio y su composición es bastante variable, aunque parece que la más acreditada por el uso es la siguiente, empleada también en los injertos:

Pez de Borgoña.....	500	gramos.
Ídem negra.....	120	—
Resina.....	120	—
Cera amarilla.....	100	—
Sebo.....	60	—
Cenizas tamizadas.....	60	—

SUPRESIÓN DE BROTES.—Si las podas dejan en el tronco heridas algo extensas, es muy común que al verano siguiente la savia haga nacer en ellas brotes vigorosos que, en comunicación con las raíces por canales vasculares, ocasionan mayor afluencia de jugos nutritivos en el año inmediato. Si, transcurridos dos ó tres, se cortan las ramas nuevas, son reemplazadas con otras, que, suprimidas á su vez, originan una nudosidad perniciosa para la calidad de la madera: todo ello se evita cortando los brotes en cuanto alcanzan 8 á 10 centímetros de longitud.

HERRAMIENTAS MÁS USADAS EN LAS PODAS.—Son las siguientes: el *tranchete*, que ya se describió (pág. 176) y se emplea para ramas delgadas; el *hocino*, de hierro acerado y forma curva, que se maneja sin mango ó con él, según se pueda ó no subir á los árboles; el *hacha* y *sierra* comunes, á propósito para el corte de ramas robustas; y la *escalera*, que facilita la poda de árboles delgados que no resistirían el peso del hombre.

Diferentes sistemas de podas.—Entre los muchos que se adoptan, sólo se darán á conocer los más comunes en el servicio

de Obras públicas, que son el *de espaldera*, el *belga ó de columna*, el *de cono* y el *progresivo ó de pirámide*, consagrando además algunos renglones á la poda de árboles sin guía.

PODA DE ESPALDERA.—Tiene por objeto desarrollar el árbol en forma de abanico, y se aplica en especial á cercados y setos vivos. Córtase la guía algo por bajo de la altura que haya de tener el cierre y encima de dos yemas, que al desarrollarse darán igual número de ramas en figura de *V*, que serán las madres ó primarias, y de las que arrancarán otras más ó menos vigorosas, que se someten á igual operación en las podas sucesivas hasta que el árbol tenga la altura del seto, cuidando siempre de cortar los brotes normales al plano de la cerca.

PODA BELGA Ó DE COLUMNA.—Se usa hace mucho tiempo en Bélgica, pues ya la citaba Poerderlé en una Memoria que publicó en 1789. La primera poda se efectúa á los dos ó tres años de plantados los árboles, suprimiendo todas las ramas comprendidas en los dos metros inferiores del tronco, aparte de las golosas y otras, que se puntualizaron en la página 231. Transcurridos tres años se podan las ramificaciones que nazcan desde el cuello de la raíz hasta la elevación de 2^m,50, y en las sucesivas esta altura es la única que queda sin ramas, lo cual es indispensable para que no se obstruya el tránsito. Procediendo de esta suerte, y suprimiendo en cada poda las ramas demasiado gruesas para que sólo queden las delgadas y medianas, distribuídas con cierta uniformidad, los troncos se asemejan á columnas, como se ve en la figura 69.^a, que representa un olmo de setenta años podado por este sistema.

Claro es que la multitud de amputaciones que exige, disminuirá el crecimiento del diámetro, y que éste no será constante, lo que hará desmerecer mucho á la madera para aplicarla á construcciones; pero no cabe desconocer que, desde el punto de vista del ornato, es muy aceptable por la forma esbelta y elegante que da á los árboles, los cuales parece asimismo que resisten mejor á los vientos fuertes que los que no tienen ramas más que en la copa, aunque Du Breuil no participa de esta opinión. En varias provincias de España se adopta con excelente éxito el procedimiento descrito.

PODA DE CONO.—Como la anterior, es originaria de Bélgica,

aunque mucho más moderna, pues se estableció por Stephens en 1848, que la aplicó á todas las carreteras y canales de su servicio. En la primera poda se suprimen las ramas comprendidas entre el suelo y una altura de 2^m,50; se conservan las demás, sean cuales fueren su grueso y las distancias que las separen, pero recortándolas de modo que el conjunto afecte forma cónica, de eje unas tres veces mayor que el diámetro de la base, y dirigiendo con esmero la guía. En el verano siguiente, desde principios de Junio á Agosto, se cortan los brotes herbáceos de todas las ramas laterales, para favorecer el crecimiento del tallo y disminuir el desarrollo de aquéllas. Cada cuatro años se repiten la poda y las operaciones reseñadas, conservando siempre la apariencia de cono y suprimiendo los brotes de las ramas principales que, sobre todo en la cabeza, podrían producir confusión y deformaciones. La figura 70.^a representa un olmo de la misma edad que el dibujado en la anterior, y que se supone podado con sujeción á estas reglas.

El aspecto de los árboles es muy agradable; pero el aprovechamiento de su madera se hace en peores condiciones que por el sistema de columna, porque, á consecuencia del vigor que adquieren las ramas laterales, es más rápida la disminución de diámetro y más acentuadas las soluciones de continuidad de las fibras leñosas, desde la base al extremo de la guía. Debe también señalarse el inconveniente de que las ramas se llenan de nudos, origen á menudo de caries, que acaban por invadir el tronco.

PODA PROGRESIVA Ó DE PIRÁMIDE.—Es más antigua que las anteriores, pues se conocía ya en tiempo de Duhamel, á mediados del siglo XVIII, si bien ha sufrido luego mejoras importantes. La primera poda se efectúa hacia el tercer año de plantado el árbol, cortando á casco todas las ramas insertas en la mitad inferior del tronco, aparte de las que reúnan las circunstancias especiales que se indicaron en la página 231. Repítense las podas, ajustándose á idénticos principios y en los períodos consignados (páginas 229 y 230) al estudiar el problema en toda su generalidad. La figura 71.^a muestra un olmo de setenta años, podado en forma de pirámide, con la disposición que se da á la copa cuando el individuo está colocado á cierta distancia de la heredad limítrofe, pues cuan-

do aquélla es sólo de unos dos metros, hay que cortar las ramas para que el vuelo no se extienda fuera de la vía.

Por este procedimiento, de uso casi constante en carreteras, se logra, conforme se demostró en renglones anteriores, obtener troncos de dimensiones máximas en ambos sentidos y superficie limpia de nudos.

PODA DE ÁRBOLES SIN GUÍA.—Á pesar de los cuidados que deben prodigarse para conservar la guía de los árboles, puede ocurrir que algunos la hayan perdido, y es necesario decir breves palabras respecto á la manera de dirigir los cortes para reponerla. Al efecto, hay que observar que estos arbolitos, cuando están bien plantados, se cubren de brotes desde el primer año, en el tercio superior del tronco; pues bien: en la época de la primera poda, antes de comenzar la vegetación, se dejan todas las ramillas, excepto las insertas en los últimos 15 centímetros, que se quitan á casco; á muy poca mayor distancia del corte de la guía, se escoge uno de los brotes más lozanos, que arranque, á ser posible, del lado de poniente, y se coloca vertical, atándolo al tocón del tallo, y suprimiendo la mitad ó tercera parte de las ramificaciones vigorosas que pueda haber en la proximidad de la elegida. El árbol presenta entonces la configuración que marca la figura 72.^a, desarrollándose la rama terminal con mucha mayor fuerza que las demás: á los dos años se corta oblicuamente el tocón de la antigua, por encima del punto en que nace la nueva; dos años más tarde la herida está cicatrizada, y el individuo, provisto ya de guía, se somete en las podas sucesivas á los procedimientos ordinarios.

EXPLOTACIÓN Y RENOVACIÓN DEL ARBOLADO.

Explotación.—La época en que conviene cortar los árboles de una carretera para aprovechar su madera, se conoce en que aquéllos se *coronan* (1): antes no se utiliza todo el volumen posible, porque crecen todavía, y después la madera, muerta ya, presenta casi siempre indicios de pudrición.

(1) *Materiales de Construcción*, 2.^a edición, págs. 338 y 339.

Nada hay que decir de los diferentes sistemas de corta que se suponen conocidos.

Renovación.—Puede ser *parcial* ó *total*, según se trate de reemplazar árboles aislados, que no hayan arraigado ó hubiesen perecido, ó de sustituir filas enteras por otras, á causa de haber explotado la plantación antigua.

RENOVACIÓN PARCIAL.—Debe efectuarse sin pérdida de tiempo, para evitar que el mayor desarrollo de los árboles inmediatos, ya por la sombra que éstos proyectan, ya por la absorción siempre creciente de las espongiolas, perjudique á los que se van á plantar. Cuando la renovación se verifica uno ó dos años después de colocados los árboles, se vacían por completo los hoyos, separando las diversas capas de tierra sobrepuestas, que se echan de nuevo, en el mismo orden, después de presentar los individuos que se desee arraiguen. En caso de que hayan transcurrido de seis á ocho años, no hay inconveniente en mezclar las tierras; pero si han pasado de quince á veinte, es indispensable quitar todas las que rodean á las raíces y sustituirlas con otras bien abonadas, porque el árbol viejo habrá absorbido ya los principios nutritivos que encerraban. En estas últimas circunstancias, es muy difícil que se desarrollen las plantaciones nuevas, aunque se consagre atención preferente á la calidad de las tierras, porque las raíces de los árboles inmediatos tienden á crecer para apoderarse de los jugos, y además los árboles jóvenes carecen de suficiente luz por envolverlos la sombra de los antiguos. Á fin de vencer, hasta cierto punto, tales dificultades, es oportuno recurrir para estas renovaciones á especies que prendan en casi todos los terrenos, entre las cuales se distingue el álamo del Canadá (*populus lævigata*) y más aún el plateado (*populus nivea*), análogo al blanco, pero preferible á éste como árbol de adorno, aunque sea algo menor la altura que alcanza.

RENOVACIÓN TOTAL.—Se efectúa exactamente del mismo modo que la plantación primitiva, y sólo hay que examinar el punto de si conviene ó no aplicar el principio de alternancia de cultivos, que se recomendó para los banales de los viveros (pág. 175).

Si los árboles se criasen tan próximos como los de los planteles, y, sobre todo, si las renovaciones se hiciesen en cortos períodos, no

hay duda de que la respuesta habría de ser afirmativa. Pero en las filas de árboles de vías públicas, la distancia entre dos inmediatos es de 7 metros, como término medio, y puede graduarse en unos setenta años el tiempo que viven de asiento: como en plazo tan prolongado las raíces adquieren gran desarrollo y sólo verifican la absorción por las espongiolas terminales, se comprende que los árboles deben llevar ya al cortarlos muchos años de vivir á expensas de tierra situada á distancia considerable de su eje, y que la próxima al mismo ha tenido tiempo sobrado de cargarse otra vez de principios nutritivos y adquirir condiciones para alimentar á las plantas nuevas. Además de estas razones, la experiencia hace ver que, aun cuando no se varíen las especies, se desarrollan las recientes con tanta lozanía como las antiguas, y que la repoblación de montes por diseminación natural produce individuos de robustez y dimensiones que en nada desmerecen de las que presentaban los árboles generadores.

CAPÍTULO IV.

AVALÚO DE LOS GASTOS DE CONSERVACIÓN.

INTRODUCCIÓN.

Las consideraciones que se exponen en este capítulo se refieren únicamente á las carreteras afirmadas con piedra partida, que son las de verdadera importancia en el servicio de Obras públicas. Los demás firmes, que se describieron en la sección segunda, apenas se emplean más que en vías urbanas, y los gastos que ocasionan varían entre límites tan extensos, según las circunstancias locales, que es en extremo difícil, por no decir imposible, establecer principios que permitan valuarlos con alguna aproximación. No se crea que el problema es sencillo, aun concretándolo á los caminos afirmados con macádam, pues los dispendios que requiere su conservación dependen de elementos muy complejos, cuya influencia está bien lejos de conocerse con exactitud: en suma, sólo la práctica y el estudio concienzudo en cada caso pueden servir de pauta fija, como atinadamente manifestó el Sr. Graeff en su

Memoria (páginas 212 y 213). Conviene, á pesar de todo, dar idea de los principales trabajos que sobre el particular han hecho Ingenieros distinguidos; y al efecto, se tratará en los dos primeros artículos, de las carreteras conservadas respectivamente por los métodos de bacheos y recargos, dedicando el tercero y último á poner de manifiesto los gastos totales y medios de conservación y reparos en las carreteras de España, que están á cargo de la Administración central.

I.—CARRETERAS CONSERVADAS POR BACHEOS.

Principios de Dupuit.—Dupuit se ocupó en valuar los gastos de conservación, sentando bases, muy discutibles algunas de ellas, en la notable Memoria que publicó en 1842 en los *Anales de Puentes y Calzadas*. Limitando, por lo pronto, el examen al afirmado, demuestra cumplidamente aquel Ingeniero que, aun suponiendo conocida con exactitud la suma anual necesaria para conservar la tersura de la superficie y el espesor del firme de una carretera, existe una relación determinada entre las cantidades que se han de invertir en material y mano de obra, que no cabe alterar sin que se resienta la vialidad ó se vaya consumiendo el capital representado por el macizo de piedra y de detritos. Supóngase conocida, por un momento, dicha relación, y ajústense á ella los gastos; claro es que entonces ni el firme se reducirá ni perderá el suelo sus buenas condiciones para la rodadura. Si conservando el mismo desembolso total se aumenta la mano de obra, á los peones les sobrará tiempo para extraer detritos y bachear: el camino se mantendrá en perfecto estado para la tracción; pero como al firme no se le restituye el material que exige, su espesor disminuirá de año en año, resultando á la postre la necesidad de repararlo, obra que hubiera podido evitarse con distribución más acertada y sin perjuicio alguno para el público. Fuércese, por el contrario, la cantidad de materiales: los bacheos y limpieas se harán mal por falta de peones; el afirmado aumentará de grueso, mas su superficie dejará mucho que desear, y será preciso dirigir todos los esfuerzos á quitar polvo y desenlodar, no empleando más pie-

dra que la estrictamente indispensable para mantener el suelo terso y unido.

Las consideraciones que preceden suponen que se conozca la cantidad total necesaria para conservar el firme, elemento con que no se cuenta en la práctica, sucediendo que el crédito concedido es algunas veces mayor, pero casi siempre más pequeño que el que pudiera llamarse *normal*. En uno ú otro caso, y según el reparto que se haga entre materiales y peones, el firme se resentirá por el estado de su superficie, por las variaciones de espesor ó por ambas cosas á la vez: la cuestión es tan clara, que no hay para qué insistir en pormenores.

De todos estos razonamientos deduce Dupuit la necesidad de fijar los elementos tantas veces mencionados, y su teoría se resume en los dos principios siguientes: 1.º, la cantidad anual de material que ha de emplearse en la conservación, es idéntica al *desgaste* que en el mismo período experimenta la calzada; 2.º, la mano de obra se ha de graduar de suerte que los peones tengan tiempo para emplear el material, con arreglo á las prescripciones conocidas, y para extraer con esmero los detritos. Estas bases son exactas, y sería suficiente conocer, para calcular los gastos anuales de la conservación de un kilómetro de firme:

1.º El desgaste medio, d , por año y kilómetro, expresado en metros cúbicos.

2.º El precio, p , de adquisición del metro cúbico de material ya preparado y al pie de obra.

3.º El jornal, j , que se paga á un peón.

4.º El número de jornales, n , que invierte el peón en emplear un metro cúbico de material.

5.º El número, n' , que mide la parte de jornal que consume el mismo operario en extraer los detritos correspondientes á un metro cúbico de desgaste.

Llamando g al gasto de conservación del firme por año y kilómetro, se tendrá:

$$g = d [p + (n + n') j] \quad (1).$$

Conviene, no obstante, hacer una advertencia antes de prose-

guir. En la fórmula anterior, d , ó sea el desgaste, podrá expresarse tomando por unidad el metro cúbico de firme consolidado, ó igual volumen de material, medido sin descontar huecos, según el sistema que se siga para determinarlo. En el primer caso, la cantidad de piedra partida necesaria para reponerlo será la que se invierta en formar el volumen d de firme; en el segundo, puede admitirse sin error sensible que el volumen de material medido en cajones sea igual á d .

En cada localidad se conocen p y j ; n y n' se deducen con bastante exactitud experimentalmente; pero la valuación de d presenta serias dificultades, sobre exigir ensayos largos y repetidos, como se echará de ver, exponiendo los procedimientos usuales.

Determinación del desgaste.—Se efectúa: 1.º, por la medición de los detritos; 2.º, por cubicaciones del firme, haciendo previamente catas; 3.º, por mediciones con la regla de Mary; y 4.º, expresándolo en función de la frecuentación y de la calidad del material.

POR MEDICIÓN DE LOS DETRITOS.—Es el método recomendado por Dupuit. Consiste en recoger, durante un año, todos los detritos que se saquen del firme, en estado de polvo ó barro; medirlos, y considerar el desgaste como igual al volumen que se encuentre. Claro es: 1.º, que antes de empezar los ensayos se ha de limpiar perfectamente la superficie, y no depositar más barreduras que las que se extraigan del camino, cuando esté en perfecto estado de conservación; 2.º, que los experimentos habrán de llevarse á cabo en todos los trozos en que cambien la naturaleza ó entidad del tránsito y las condiciones de los materiales; 3.º, que la longitud que se someta á los ensayos podrá ser tanto más pequeña, cuanto más activa sea la circulación, oscilando, por lo común, entre 200 metros y un kilómetro; y 4.º, que en lo posible deben escogerse al efecto tramos de poca inclinación, lejos de travesías y en trozos á cargo de camineros inteligentes.

Á primera vista parece que el número deducido por este sistema será mayor que el desgaste, en atención á las materias extrañas que se recogen con los detritos; pero esta influencia es bastante escasa, como lo prueba el examen detenido de los montones y de la densidad media, que es siempre superior á la de la piedra

(por supuesto sin descontar huecos en uno ni otro caso), lo que no ocurriría si la proporción de hojas secas, excrementos, etc., fuese considerable: por otra parte, si algunas sustancias pueden caer en el firme ó depositarlas las ruedas de los vehículos, de mayor importancia son casi siempre los detritos que arrastran los vientos y lluvias. Resulta, por tanto, que el desgaste es constantemente superior al volumen de barreduras, sin que pueda precisarse en cuánto, lo cual justifica que Muntz, Gasparin y otros Ingenieros proscriban el sistema y se muestren partidarios del de cubicación directa.

De admitir el procedimiento descrito, hay que fijarse en que el volumen que se deduce no es de firme, sino de material desagregado que presenta huecos algo menores, pero no mucho, que la piedra machacada: en este caso, pues, el cubo de material indispensable para reponer el desgaste es próximamente igual al que la experiencia señale para los detritos.

POR CATAS Y CUBICACIONES.—Es el sistema más exacto, y en esencia se reduce á cubicar el firme en dos épocas distintas y calcular el volumen consumido, teniendo en cuenta el de material empleado en la conservación de la tersura, en el período que medie entre ambas mediciones. Éstas deben hacerse en estaciones iguales, practicando las calicatas alternativamente en cada mitad del firme y nunca en el mismo sitio que las precedentes, por la desagregación, ó por lo menos cambio de naturaleza, que ha podido experimentar el macizo. Los espesores hallados sirven para dibujar los perfiles transversales correspondientes, y determinar sus áreas, con las cuales y las distancias entre aquéllos se poseen los datos necesarios para cubicar el firme por cualquiera de los procedimientos conocidos. Como garantía de exactitud en los resultados, conviene que transcurra bastante tiempo, cuatro ó cinco años, entre las dos operaciones.

Si V es el volumen del firme en la primera cubicación, V' el hallado en la segunda y v el del material empleado, reducido á volumen de firme, para no comparar más que cantidades homogéneas, es evidente que el desgaste D , en todo el período comprendido entre las dos mediciones, será:

$$D = V - V' + v,$$

y el desgaste medio anual, d , suponiendo que dicho período sea de n años,

$$d = \frac{D}{n} = \frac{V - V' + v}{n}.$$

POR LA REGLA DE MARY.—El método no difiere del anterior sino en el modo de deducir las cotas para trazar los perfiles transversales. En lugar de hacer calicatas, se usa la regla de madera ideada por el Inspector general de Puentes y Calzadas, Sr. Mary, que representa la figura 84.^a, lámina 7.^a Es un poco más larga que la mitad del ancho de la carretera; uno de sus extremos lleva un vástago, a , que se apoya en un hito, empotrado previamente en el paseo, y cuya altura sobre el fondo de la caja se conoce con exactitud; al otro extremo, y en correspondencia con el eje del camino, va un tornillo, d , que se hace girar hasta que la regla sea horizontal, lo que se comprueba con una plomada, c , ó por cualquier otro medio. El instrumento presenta, á distancias constantes, aberturas que dan paso á una reglilla graduada, que por lo común es de cobre, y sirve para leer las ordenadas en los puntos b . Con los elementos observados se trazan los perfiles, y se continúa como en el caso anterior. El procedimiento quizá no sea tan riguroso, pero es más expedito, no obliga á desarreglar el firme con numerosas calicatas y permite efectuar las mediciones cuantas veces se desee.

POR LA FRECUENTACIÓN Y LA CALIDAD DE LOS MATERIALES.—Que la frecuentación influye en el desgaste, variando ambos en el mismo sentido, á igualdad de las demás circunstancias, es hecho fuera de duda y por todos reconocido. Dupuit sostiene que el desgaste es proporcional á la frecuentación expresada en *colleras*; pero esta hipótesis la combaten muchos Ingenieros, fundándose en razones muy sólidas. En primer lugar, si la ley fuese exacta, en carreteras de escasísimo tráfico apenas se necesitaría emplear materiales, y, sin embargo, la práctica enseña que no es así, y que bastan las influencias atmosféricas para producir desperfectos que sólo se corrigen bacheando. En segundo lugar, con excelente criterio dice Gasparin (1) que el simple enunciado de que, con arre-

(1) Memoria publicada en 1853 en los *Anales de Puentes y Calzadas*.

glo á la proporcionalidad, lo mismo costaría conservar un firme sometido á una circulación de 500 colleras, que diez firmes iguales de un tránsito de 50 colleras cada uno, hace comprender que la base de que se ha partido es errónea. El desgaste, añade el mismo Ingeniero, está íntimamente ligado con el ancho de la carretera: es muy grande cuando todos los vehículos tienen que seguir el mismo carril, y, por el contrario, disminuye mucho cuando hay espacio para que la rodadura se efectúe en todos sentidos. En suma, parece que la ley, que podrá aproximarse á la verdad para circulaciones medias, se separa bastante en caminos de frecuentación exigua ó muy considerable. En estos últimos, el desgaste crece con más rapidez que el tráfico, citándose ejemplos en que aquél se ha sextuplicado al triplicarse éste.

Á pesar de todo, es común seguir la teoría de proporcionalidad defendida por Dupuit, que propuso deducir el desgaste multiplicando la frecuentación diaria, f , valuada en centenares de colleras, por la *calidad*, c , del material, dando este nombre al desgaste anual ocasionado por la piedra que se considere, en un kilómetro de carretera y para 100 colleras diarias de frecuentación. Se tendrá, pues,

$$d = fc \dots (2),$$

lo que es claro á todas luces, si se admite el principio. Pero es preciso ver el modo de conocer los dos factores del segundo miembro.

Determinación de la frecuentación.—En Francia se hacen trabajos estadísticos cada cinco ó seis años con este objeto: en España se ha intentado una vez, pero en malas condiciones, y sin obtener resultados dignos de mención. Desde luego hay que convenir en lo complejo del problema, por la diversidad de motores y vehículos que transitan por un camino, de las cargas que arrastran, de las velocidades á que marchan, y de otras muchas circunstancias que obligan á aplicar coeficientes arbitrarios á las agrupaciones que resultan de los recuentos, á fin de reducirlas todas á una misma unidad, la *collera*, que es el animal que tira de un vehículo pesado con carga ó de un carruaje público destinado á transporte de viajeros.

Para facilitar los trabajos y disminuir las causas de error, se ha reducido lo posible el número de grupos en los últimos censos hechos en Francia. Á continuación se expresan las categorías y los coeficientes admitidos para la reducción á colleras (1):

	<u>Coefficientes.</u>	
Animales de tiro. {	En vehículos cargados de productos ó mercancías.....	1
	En íd. públicos para transporte de viajeros. }	
	En íd. vacíos y coches particulares.....	$\frac{1}{2}$
Caballerías sueltas ó cargadas á lomo.....	$\frac{1}{2}$	
Cabezas de ganado menor.....	$\frac{1}{20}$	

Se indicará el sistema que se sigue ordinariamente para los recuentos periódicos. Las observaciones se confían, por lo general, á peones camineros escogidos, á los que se provee de impresos, con las casillas necesarias para hacer en cada una, con la punta de un alfiler ó con lápiz, las anotaciones que correspondan á los puntos de estación. Estos últimos se situaron en Francia, para el censo de 1888, á distancias medias de unos 7 kilómetros, y se eligen con cuidado, de suerte que el tránsito por uno cualquiera venga á ser el medio del trozo en cuyo centro se encuentra: la elección es muy difícil, aunque algo la simplifican los caminos afluentes á la carretera, que debe procurarse sirvan de límites á las secciones.

Los trabajos estadísticos duran un año; pero no se toman apuntes, á fin de aminorar los gastos, más que cada trece ó diez y siete días, de modo que se tengan 28 ó 21 recuentos en todo el período: para el censo de 1888 se practicaron 28. Se cuida de variar el día de la semana en que se efectúan, con objeto de que no ejerzan influencia sensible las costumbres locales, como mercados, fiestas, servicios intermitentes, etc. Cada recuento dura veinticuatro horas, excepto en las carreteras de circulación nocturna muy pequeña, para las cuales sólo se hacen una ó dos observaciones por trimestre, durante la noche: en este último caso se admite que la circulación media total es igual á la suma de las medias de las dos series de observaciones, diurnas y nocturnas.

(1) *Recensement de la circulation en 1888*: París, 1890.

La valuación del tránsito en toneladas transportadas, daría idea más cabal de su importancia y hasta permitiría adoptar con menos restricciones la proporcionalidad del desgaste á la frecuentación. Pero como no existe ningún medio práctico de pesar los vehículos y animales que pasan por una carretera, hay que acudir, como se hace en Francia, á fijar coeficientes arbitrarios para elementos tan circunstanciales como las cargas y pesos, partiendo del número de colleras para el cálculo del tráfico en toneladas. Tal sistema no puede inspirar confianza, pues que lejos de disminuir los errores inherentes á los recuentos, se acrecen considerablemente al hacer entrar nuevos factores, cuya inexactitud es notoria.

Determinación de la calidad de los materiales.—Puede ocurrir: 1.º, que el material se haya empleado en otras carreteras semejantes, cuyas condiciones sean bien conocidas; y 2.º, que se trate de material nuevo ó que no se haya sometido á ensayos previos.

En el primer caso, se conocerán el desgaste, d' , y la frecuentación media, f' , en otra carretera próxima; y por consiguiente, en virtud de la fórmula (2) (pág. 244), y admitiendo siempre la teoría de Dupuit, se tendrá:

$$d' = f'c, \quad c = \frac{d'}{f'} \quad \text{y} \quad d = \frac{f}{f'} d'.$$

Si no puede efectuarse la comparación con otros firmes, acostúmbrase en Francia á dar á c un valor medio, producto de numerosas observaciones, pero que forzosamente ha de ser inexacto, no sólo por las diferencias que existen entre unos materiales y otros, sino por la influencia marcada de las clases de vehículos que circulen. El Gobierno dispuso, en 6 de Junio de 1850, al establecer la fórmula para el reparto de créditos de conservación, que se hiciese provisionalmente $c = 40$, cuando se careciese de ensayos directos; Dupuit fijó el núm. 50 para materiales ordinarios de buena calidad, y de los experimentos hechos por Muntz en 1842 resultó que c habría de variar entre 50 y 55. Estos guarismos deben acogerse con mucha desconfianza por las causas indicadas: con material de condiciones corrientes, el desgaste por año,

kilómetro y frecuentación de 100 colleras, oscila entre 25 y 100 metros cúbicos, correspondiendo los límites á tránsito exclusivo de carruajes ligeros ó de carga, respectivamente.

En 1879 se ensayó con mal éxito en todos los departamentos de Francia la determinación de la calidad de los materiales, construyendo cerca de la residencia de los Ingenieros una pequeña longitud de firme con la piedra que se quería ensayar, midiendo directamente el desgaste y haciendo observaciones para apreciar la circulación. Se comprende que los resultados, aparte de caros, no fuesen satisfactorios, porque ni una carretera recién construída está en igualdad de condiciones que las antiguas, ni es posible tener en cuenta elementos de tanta monta como pendientes, orientación, etc., etc. Se han ideado también procedimientos de laboratorio para deducir el desgaste de las piedras, ninguno de los cuales ha prosperado, por la imposibilidad de colocar el material en circunstancias ni siquiera análogas á las en que se encuentra en la práctica.

Expresión general de los gastos.—De todo lo dicho se desprende: 1.º, que para determinar el desgaste no hay más que un método, la medición directa, que pueda ofrecer algunas garantías; 2.º, que de los procedimientos descritos, el de cubicación del firme es el más exacto; 3.º, que sólo para circunstancias medias cabe admitir la proporcionalidad del desgaste al tránsito; 4.º, que en algunos países, como Francia, en que se hacen censos periódicos del movimiento y en que se conoce la calidad de la mayor parte de los materiales empleados en firmes, puede ser útil la determinación indirecta del desgaste (1).

En suma, la fórmula (1) (pág. 240) es la que conviene aceptar

(1) Conviene saber que hoy día es corriente en Francia no llamar *calidad* del material al desgaste anual, por kilómetro y 100 colleras, como hacía Dupuit, sino á un número abstracto que varía de 0 á 20, y que es mayor á medida que crecen las resistencias de las piedras al aplastamiento y al roce. Se admite que los mejores materiales, los que tienen 20 por coeficiente, producen un desgaste de 15 metros cúbicos, referido á las mismas unidades antes indicadas. Llamando q al coeficiente, la relación que existe entre él y c será: $\frac{c}{15} = \frac{20}{q}$ ó $c = \frac{300}{q}$.

para el avalúo de la conservación del firme, si bien, en ciertos casos, puede reemplazarse con la siguiente:

$$g = fc \left[p + (n + n') j \right].$$

Pero para tener en cuenta todos los elementos de gasto hay que considerar los relativos á conservación de obras de tierra y fábrica y á vigilancia y administración.

La conservación de obras de tierra depende algo de la frecuentación, pero sobre todo de las condiciones del clima y del suelo: se representan los dispendios en cada zona por cierto número, N , de jornales de peón, por año y kilómetro. El coste originado por las obras de arte, A , es muy variable de una á otra carretera, según el número de aquéllas, sus luces y alturas, las circunstancias de los cauces, etc., etc.: sólo la práctica permite fijarlo en cada caso.

Los gastos generales y de vigilancia, I , se deducen con sencillez, dada la organización administrativa que se adopte. Por lo general, de todos los sumandos que abrazan, el más importante es el referente á la parte alicuota del sueldo del capataz, que debe cargarse á cada kilómetro. Hay que agregar también las indemnizaciones del personal facultativo, haberes de agentes temporeros, reposición de herramientas, cierto material de oficina, etc.

Conglobando los gastos de toda especie, se llega á la siguiente fórmula, que da el gasto total, G , por año y kilómetro, para la conservación de una carretera por el método de bacheos:

$$G = d \left[p + (n + n') j \right] + Nj + A + I \quad (3),$$

$$\text{ó} \quad G = fc \left[p + (n + n') j \right] + Nj + A + I \quad (4).$$

Esta última es, en esencia, la admitida por el Gobierno francés, en 6 de Junio de 1850, para el reparto de créditos de conservación, advirtiendo que cuando no existan experimentos directos se hagan $c = 40$, $n + n' = 2$ y $Nj + A = 40 j$, siendo entonces la expresión:

$$G = 40 f (p + 2j) + 40 j + I.$$

Manifiesta Durand-Claye, en su obra publicada en 1885, que en los seis años anteriores, los términos medios obtenidos para algunos de dichos coeficientes, en la conservación de carreteras nacionales, fueron: $n = 0,97$, $n' = 0,79$, $N = 42,5$.¹

Se ha procurado poner de relieve las deficiencias de las fórmulas (3) y (4), así como también las graves dificultades que presenta la determinación de algunos coeficientes; pero todavía se insistirá en este asunto. Hay ciertos elementos en las fórmulas que no se pueden reducir, á lo menos sin perjuicio del capital representado por la carretera, y en tal caso se encuentran d y A ; otros, como p y j , que los imponen las circunstancias de localidad; y, por último, n , n' , N é I , son susceptibles de disminución dentro de ciertos límites, pero empeorando las condiciones de viabilidad. Si no se bachea con esmero, bajará n ; si se bache poco ó nada, el valor de n' experimentará reducción notable; si se conservan mal las obras de tierra, se aminorará N ; una vigilancia insuficiente hará bajar el término I ; mas no hay que perder de vista que tales economías son ilusorias, y que en último resultado se pagan caras por el país ó el Estado, ya por el exceso de gastos con que se grava á la tracción, ya por los reparos costosos que á la larga requieren las carreteras.

Otra observación importante. Los factores y sumandos de las fórmulas no son independientes entre sí: algunos de ellos están ligados por relaciones que no hay medio de expresar, de suerte que no cabe atribuir valor absoluto á los números que se deduzcan. Así, por ejemplo, d es función de n , y ambas varían en sentido inverso, porque: 1.º, á medida que el desgaste es mayor, se necesitan más acopios, los montones tienen que estar muy próximos, y se rebaja uno de los elementos más importantes de n , el transporte de la piedra desde los paseos á los baches; 2.º, cuando el material se emplea con gran esmero, es decir, cuando n es relativamente grande, el desgaste se reduce. También d es función de n' y de I , puesto que, según se barra y desenlode, disminuirán ó crecerán los detritos, no pudiendo tampoco desconocerse la influencia de una buena administración en la economía de material.

Aplicaciones de las teorías precedentes.—De poder-

se admitir los principios de Dupuit, aparte de los gastos, se conocerían, hasta cierto punto, otros elementos interesantes. Tales son la longitud de los trozos que deben encomendarse á los peones camineros, y el resultado económico de emplear piedra mejor que la de la localidad, aunque más cara.

LONGITUD DEL TROZO Á CARGO DE UN PEÓN.—Siendo $d = fc$ el desgaste por kilómetro, si se representa por x la longitud del trozo, expresada en aquella unidad, el volumen que tendrá que emplear el peón, además de extraer los detritos correspondientes, será fcx . El número de jornales que requiere cada metro cúbico se ha representado por $n + n'$; de suerte que, admitiendo trescientos días laborables al año, el caminero podrá, en igual período, ejecutar las faenas de conservación en $\frac{300}{n + n'}$ metros cúbicos, cantidad que habrá de equivaler á fcx . Por tanto,

$$fcx = \frac{300}{n + n'} \quad \text{ó} \quad x = \frac{300}{fc(n + n')}$$

Según se admita para $n + n'$ el valor 2 que le señala la circular francesa, ó el 1,76 consignado por Durand-Claye, resultará:

$$x = \frac{150}{fc} = \frac{150}{d} \quad \text{ó} \quad x = \frac{170}{fc} = \frac{170}{d}$$

Aun aceptando como bueno el principio, estas expresiones no serían correctas, porque suponen que las limpiezas y bacheos se repartan con uniformidad, hipótesis muy distante de lo que en la práctica acontece. Dan, no obstante, indicaciones útiles, que la experiencia se encarga de corregir, siempre que se vigilen sin cesar los trabajos de los peones y se estudien á conciencia los resultados obtenidos y las circunstancias especiales de cada trozo.

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE DIVERSOS MATERIALES.—Se ha visto que el gasto de conservación del firme por año, kilómetro y frecuentación de 100 colleras es $c [p + (n + n') j]$ ó próximamente $c (p + 3)$, haciendo $n + n' = 1,76$ y $j = 1^{ta}, 75$. Supónganse dos materiales distintos, uno flojo y barato, para el cual $c = 100$ y $p = 2$, y otro duro y mucho más costoso, en que, por

ejemplo, $c = 50$ y $p = 6$: el primero exigirá un gasto anual y kilométrico de $100 \times 5 = 500$ pesetas; el segundo, $50 \times 9 = 450$. Por manera que la piedra dura, aunque de triple precio al pie de obra que la blanda, realizará una economía de 50 pesetas al año. No hay para qué decir que estos guarismos carecen de rigor absoluto; pero enseñan cuán infundados son á veces los temores de los Ingenieros de proponer el acopio de material bueno, creyendo que las distancias de transporte influyen de manera decisiva en los gastos totales de conservación (1).

Otras fórmulas propuestas para valuar los gastos.—Por más que dejen bastante que desear las que se han discutido, no se examinarán las propuestas por diversos Ingenieros: unas, como las de Monnet, por referirse á sistemas especiales de bacheos, que no se usan por su excesivo coste, á pesar de la economía que sus inventores les atribuyen; otras, como la de Gasparin, porque sobre partir de supuestos aventurados y exigir ensayos prolijos y difíciles de ejecutar, no inspiran más confianza que las basadas en las leyes de Dupuit (2).

II.—CARRETERAS CONSERVADAS POR RECARGOS.

Determinación de la fórmula general.—Ciñéndose á las consideraciones expuestas en el artículo que precede, no hay dificultad alguna para deducir las fórmulas. Si se llama G el gasto medio anual de la conservación de un kilómetro; G' el coste de un recargo; x el número de años ó período entre dos consecutivos,

(1) El Sr. Carrau, Ingeniero de Puentes y Calzadas, ha propuesto una fórmula para deducir la distancia límite á que conviene llevar los materiales de conservación de dos canteras diferentes, para resolver el problema económico en toda su generalidad. En la expresión admitida por él entran, como es natural, las calidades respectivas de los materiales, números difíciles de obtener, según se ha visto, y más aún en España en que se carece de estadísticas de circulación. Por este motivo no se expone el sistema, cuya descripción puede verse en los *Anales de Puentes y Calzadas* (Octubre de 1891).

(2) Á pesar de todo, la Memoria de Gasparin, publicada, como ya se ha dicho, en 1853, en los *Anales de Puentes y Calzadas*, es muy notable y merece consultarse.

y G'' el gasto anual para mantener la tersura de la superficie, conservar las obras de tierra, accesorias y de fábrica y sufragar la vigilancia y administración, es evidente que

$$G = \frac{G'}{x} + G' \quad (5).$$

El coste de un recargo dependerá: de su volumen, V' ; del precio p del metro cúbico de material al pie de obra, y del gasto medio de empleo, p' , referido á aquella unidad é incluyendo el cilindrado y riego. Claro es que

$$G' = V' (p + p') \quad (6).$$

G'' se deducirá por la fórmula (3) (pág. 248), reemplazando d con el volumen V'' que sea indispensable emplear al año para que la superficie se mantenga tersa y unida (1), y será

$$G'' = V'' [p + (n + n')j] + Nj + A + I \quad (7),$$

teniendo todas las letras la significación conocida.

De las igualdades (5), (6) y (7), se obtiene:

$$G = \frac{V' (p + p')}{x} + V'' [p + (n + n')j] + Nj + A + I \quad (8).$$

Ahora bien: si se representa por V el volumen *medio* por año, que se ha de emplear en la conservación de un kilómetro, se tendrá:

$$V = \frac{V'}{x} + V'' \quad \text{y} \quad x = \frac{V'}{V - V''},$$

y sustituyendo en (8), resulta la fórmula:

$$G = (V - V'') (p + p') + V'' [p + (n + n')j] + Nj + A + I.$$

Con las salvedades que en páginas anteriores se han expuesto, pueden determinarse en cada caso p , j , n , n' , N , A é I : sólo

(1) Recuérdese que para que los términos sean homogéneos, es indispensable que los volúmenes V' , V'' , y los que luego aparecerán, se refieran todos á firme compacto ó á piedra partida.

hay que entrar en algunos pormenores respecto á V , V'' y p' .

VALOR DE V .—El procedimiento de recargos no difiere del de bacheos sino en la manera de reponer el desgaste, de suerte que es lógico admitir que el volumen medio de material consumido, cuando se emplea aquél, sea idéntico al anual correspondiente al segundo sistema, es decir, que $V = d$.

Ya se dijo (págs. 211 y 212) que por pretender algunos Ingenieros que el uso de recebo es peculiar de la conservación por recargos, siendo así que conviene agregarlo del mismo modo en los bacheos, opinan que el valor de V ha de ser notablemente inferior al de d . Graeff admite que $V = 0,9 d$; pero ni siquiera esta reducción debe aceptarse, porque, según se expresó al comparar los dos sistemas de conservar los afirmados, el pequeño aumento de d con relación á V , motivado por las piedras que se aplastan por los cascos de caballerías ó ruedas de vehículos, es tan pequeño, si el servicio se organiza bien, que no merece tenerse en cuenta.

VALOR DE V'' .—El material necesario para hacer los bacheos que requiere la conservación de la tersura de la superficie, puede deducirse experimentalmente en 2 ó 3 kilómetros de carretera, llevando cuenta minuciosa de la piedra que se gasta entre dos recargos sucesivos y teniendo cuidado de no hacer ningún bacheo con objeto de restituir espesor. Si se divide el volumen invertido por el número de años y el de kilómetros, quedará determinado el guarismo que se busca.

En el caso frecuente de no practicar ensayos previos, se puede tener seguridad, aun en carreteras cuya frecuentación varíe entre 300 y 600 colleras, de pecar por exceso haciendo $V'' = 30$ metros cúbicos, por año y kilómetro (1).

VALOR DE p' .—El precio del empleo del metro cúbico de piedra se conocerá por el resultado que se haya obtenido, en circunstancias análogas, en obras por administración, ó por lo abonado á los contratistas, aumentando, para el cálculo, á los precios de presupuesto el 15 por 100 que prescriben los formularios (2), y reduciendo la suma en la cantidad proporcional que corresponda,

(1) Debaue, *Routes*.

(2) Véanse los formularios en el Apéndice núm. 1.

con arreglo á la baja obtenida en la subasta. Por último, si no hubiera antecedentes de obras semejantes, se deducirá el precio, calculando el valor de cada uno de estos elementos:

Recebo al pie de obra.

Preparación de la superficie sobre que se ha de tender el recargo.

Extensión y arreglo de materiales.

Riego.

Cilindrado.

Gastos de conservación del cilindro é intereses y amortización del capital que representa.

Gastos generales, de vigilancia, etc.

Periodo entre dos recargos. — Teóricamente se deduce por la fórmula

$$x = \frac{V'}{V - V''}$$

Los dos términos del denominador se suponen conocidos, con sujeción á lo expuesto en los párrafos anteriores, y V' se calcula sin dificultad, sabiendo la anchura del firme y el espesor del recargo.

Como quiera que la determinación de V y V'' no puede hacerse sino con cierta aproximación y en virtud de ensayos largos y prolijos, no es necesario insistir en que la fórmula carece de utilidad práctica, y que sólo la experiencia servirá de guía para escalonar convenientemente en cada caso los recargos generales de los firmes que se conserven por este sistema.

III.—GASTOS DE CONSERVACIÓN Y REPARO DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS.

Datos estadísticos.—Se consignarán los deducidos de la *Memoria de Obras públicas*, dada á luz en 1890, que abraza los relativos á las carreteras del Estado en 1889; pero para que se comprenda cómo se han calculado los términos medios, hay que hacer una advertencia. Aquel documento oficial establece el debido deslinde entre gastos de conservación y de reparos, y con este último dictado se conocen, por lo común, en España los recargos genera-

les de firmes, que en realidad son trabajos de conservación, pues que, según repetidamente se ha dicho, constituyen uno de los métodos de restituir el volumen del material desgastado. Por desgracia, en nuestro país no se presta la atención sostenida que reclama á este importantísimo ramo de la administración, y no se acostumbra establecer de manera clara y terminante el sistema que se adopta para mantener el capital que representa el firme: casi siempre se procede por bacheos, y la carretera se considera en estado de conservación mientras el espesor no experimente variaciones de entidad; mas si por insuficiencia del material empleado ó por cualesquiera otras causas, se reduce el volumen de afirmado hasta límites que no permitan se verifique el tránsito en buenas condiciones, se recarga la calzada, dando el nombre de *reparación* á la obra que se ejecuta. Estas indicaciones justifican que se haya agregado á los gastos que figuran en los cuadros oficiales, en concepto de conservación, el importe de las reparaciones, si bien prescindiendo del de aquéllas que no se refieren al firme, sino á obras de fábrica, ensanches, etc., etc.

En el estado siguiente aparecen las longitudes de las carreteras de primero, segundo y tercer orden, que se conservaron en 1889; los gastos que produjeron, los términos medios por kilómetro y la media general para toda la red.

GASTOS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN 1889.

Orden de las carreteras.	Longitud. — Kilómetros.	Gastos. — Pesetas.	Gasto medio por kilómetro. — Pesetas.
1. ^o	6.860	4.767.430	695
2. ^o	8.703	5.299.016	609
3. ^o	11.759	6.051.721	515
Totales y gasto medio general.	27.322 (1)	16.118.167	590

(1) Este número difiere algo del consignado en la página 12, sin duda por errores cometidos en el documento oficial.

Claro es que los términos medios por provincias oscilan entre números bastante separados y en armonía con las circunstancias locales y el desarrollo del tráfico. Así en el año expresado, se elevó el gasto medio á 1.123 pesetas por kilómetro en las carreteras de la provincia de Barcelona, y sólo fué de 402 en las de Teruel.

Comparación de los gastos medios en España, Francia é Italia.—El gasto medio de conservación de carreteras afirmadas con piedra partida ascendió en Francia, en 1882 y 1883, á la cantidad de 454 pesetas por año y kilómetro (1). Sin duda se va aquilatando más y más la organización administrativa, pues en 1871 el término medio subía á 499 pesetas (2), habiéndose realizado en doce años una economía de 9 por 100 en el coste kilométrico, á pesar de que en ese período ha adquirido el tráfico aumentos de consideración, por el vuelo que han tomado los intereses materiales en la República vecina, desde que se repuso de los desastres de 1870 (3). Y aun es de notar que un

(1) Durand-Claye, *Routes*.

(2) Debaube, *Routes*.

(3) En comprobación de lo dicho, véanse los resultados medios de los siete últimos censos hechos en Francia:

Años.	Colleras diarias por kilómetro.
1851-52.....	244
1856-57.....	246
1863-64.....	237
1869.....	240
1876.....	207
1882.....	220
1888.....	241

Se ve claramente la disminución notable que acusó el primer censo después de la guerra y el aumento progresivo que ha experimentado luego. Conviene advertir que los números que se estampan en el cuadro se refieren al total de animales de tiro ó carga, sin aplicarles coeficientes de reducción, á causa de no haberse adoptado siempre los mismos. En el censo de 1888 el tráfico medio reducido ha resultado de 193 colleras.

También debe advertirse que, según varios Ingenieros, las economías

año después el gasto medio fuese sólo de 499 pesetas, si se considera que en las vías más frecuentadas, las del departamento del Sena, se elevaba el tipo á 4.247.

De todos modos, llamará la atención que en España, á pesar de que, por lo común, no están conservadas las carreteras con extraordinario esmero, se invierta, por kilómetro, mayor suma que en Francia, siendo la diferencia de bastante entidad (136 pesetas). Las razones de esta anomalía no pueden ser más que dos: 1.^ª, las condiciones climatológicas de todo el centro y mediodía de la Península, que impiden la conveniente trabazón de los materiales, obligando á multiplicar el volumen de piedra y la mano de obra, sin que se consiga, por mucho que sea el celo del personal, mantener los firmes con los requisitos que se exigen para que la tracción se efectúe suave y económicamente; 2.^ª, las deficiencias administrativas que se advierten en un servicio que ha de estar organizado con perfección suma, so pena de irrogar graves daños al público y al Tesoro. Tarea larga sería enumerar todo lo que debe corregirse y que no se remediará nunca sin la voluntad decidida de Gobiernos é Ingenieros: muchos defectos y negligencias se han señalado en páginas anteriores; muchos más pudieran puntualizarse, y entre ellos conviene consignar el retraso con que á veces se subastan los acopios, que ocasiona á menudo no tener material disponible para bachear en las épocas oportunas, lo cual lleva consigo el que los desperfectos revistan importancia y sea difícil y costoso hacerlos desaparecer.

La comparación de gastos de conservación en España é Italia se presta también á observaciones curiosas. El coste medio kilométrico de las carreteras nacionales italianas en el año económico de 1882-83 fué de 956 pesetas, cantidad crecidísima y que sólo cabe explicarla por el sistema defectuoso que se ha adoptado.

Al constituirse el nuevo reino de Italia, en cada región se se realizaron en los gastos de conservación se deben al mayor desarrollo que, en virtud de prescripciones oficiales, va adquiriendo el sistema de recargos. Durand-Claye, en su Memoria de 1891, manifiesta que en 1878 sólo se empleó este método en el 18 por 100 del volumen total de materiales, y que en 1883 subió la proporción al 39 por 100, sin contar la piedra invertida en verdaderas reparaciones.

guían procedimientos diversos, que se han ido uniformando poco á poco, hasta venir á parar á la Instrucción aprobada en 1870, por la que se prescribe que las obras de conservación de caminos se dividan en dos grupos, contratándose respectivamente por tanto alzado y por unidades. Se adopta el primer sistema para limpia de detritos, obras de tierra y de fábrica de escasa importancia y casi todas las accesorias; el segundo, para acopio y empleo de materiales y para obras de tierra y arte que no se clasifiquen en la anterior categoría. Los peones camineros, aunque agentes en realidad de los contratistas, son nombrados por la Administración, contribuyendo aquéllos á su pago en la proporción de 75 por 100. El método someramente reseñado es inadmisibile: los trabajos de conservación de carreteras, exceptuando los relativos á acopio de materiales y empleo de los mismos en recargos, no se prestan, por la vigilancia asidua que requieren y por su propia indeterminación, á ser objeto de contratos, y así se ha reconocido en todas partes, incluso en España, á pesar de haber algunos Ingenieros, aunque pocos, que todavía defienden el procedimiento. No estará de más transcribir las palabras de Cantalupi sobre este asunto:

«No tenemos datos suficientes para deducir si tal sistema será conveniente en todas las provincias de Italia para lograr buena vialidad y prudente economía: lo que sí puede asegurarse es que en ciertas provincias de Lombardía ha dado resultados lamentables, á causa de que los contratistas, por tolerancia ó lenidad de los Ingenieros, dejan de ejecutar todas las obras presupuestas en tanto fijo y encuentran medio de que se les abone aparte. Aunque á primera vista pudiera parecer favorable la comunidad de intereses, la experiencia ha demostrado que perjudica á la Administración, á la par que al tráfico, por los abusos á que se presta, como hemos tenido ocasión de observar. Con efecto, ajustándose alzadoamente la limpia de detritos y la desaparición de surcos, los contratistas acuden á toda clase de subterfugios para burlar la vigilancia de los agentes técnicos y substraerse al cumplimiento de sus obligaciones, ó por lo menos ejecutan los trabajos con notoria imperfección, dando margen á mayores deterioros en la plataforma.

»Ahora bien: como dichos deterioros exigen para su reparo volúmenes considerables de piedra, cuyo acopio ofrece siempre ventajas al contratista, consigue éste, en suma, economizar la mano de obra, que tiene deber de suministrar, y emplear mayor volumen de materiales.

»Por estos motivos y otros muchos que omitimos en obsequio á la concisión, mientras que la vialidad por las carreteras deja bastante que de-

sear, se perjudica notablemente al Tesoro público. El sistema, por tanto, se presta á objeciones muy serias y no se puede aplicar sin graves dificultades.»

Bastará añadir á lo preinserto que, sobre pecar de ineficaces, costaron la dirección y vigilancia por kilómetro, en el año citado de 1882-83, y por término medio, la enorme suma de 245^{ptas},50.

En la propia Italia se han ensayado en estos últimos años procedimientos iguales en esencia á los que se siguen en Francia y España, logrando resultados satisfactorios, bajo los aspectos económico y técnico. Las pruebas más concluyentes se realizaron de 1873 á 1881 por el Ingeniero Casari en los caminos provinciales de Novara, y por Sacchi en los vecinales de Padua.

Resumiendo: debe proscribirse el método de contratación para conservar carreteras, aplicándolo tan sólo al acopio y transporte de materiales, al machaqueo de las piedras y á lo más á la ejecución de recargos. Este sistema, sancionado en Francia, donde con tanto interés se han discutido y ensayado hasta los trabajos de menor entidad que reclaman los caminos, es el que también se ha adoptado en España. Nada hay que objetar en nuestro país respecto á la organización general: lo que falta, según se ha manifestado repetidas veces, es mayor asiduidad por parte de los agentes facultativos, y que la mayoría de los Ingenieros cese de mirar con injustificado desdén esta rama del servicio, la que más títulos puede darles, como con sano criterio decía Dupuit, á la consideración social.

Se terminará esta sección, reseñando las diferentes categorías del personal afecto en España á la conservación y reparo de carreteras, así como los principales preceptos administrativos que están hoy en vigor.

CAPÍTULO V.

ORGANIZACIÓN EN ESPAÑA DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN.

I.—PERSONAL.

Peones camineros y capataces.—Los peones camineros se instituyeron en España en 1794. Su organización ha sufrido

sear, se perjudica notablemente al Tesoro público. El sistema, por tanto, se presta á objeciones muy serias y no se puede aplicar sin graves dificultades.»

Bastará añadir á lo preinserto que, sobre pecar de ineficaces, costaron la dirección y vigilancia por kilómetro, en el año citado de 1882-83, y por término medio, la enorme suma de 245^{ptas.},50.

En la propia Italia se han ensayado en estos últimos años procedimientos iguales en esencia á los que se siguen en Francia y España, logrando resultados satisfactorios, bajo los aspectos económico y técnico. Las pruebas más concluyentes se realizaron de 1873 á 1881 por el Ingeniero Casari en los caminos provinciales de Novara, y por Sacchi en los vecinales de Padua.

Resumiendo: debe proscribirse el método de contratación para conservar carreteras, aplicándolo tan sólo al acopio y transporte de materiales, al machaqueo de las piedras y á lo más á la ejecución de recargos. Este sistema, sancionado en Francia, donde con tanto interés se han discutido y ensayado hasta los trabajos de menor entidad que reclaman los caminos, es el que también se ha adoptado en España. Nada hay que objetar en nuestro país respecto á la organización general: lo que falta, según se ha manifestado repetidas veces, es mayor asiduidad por parte de los agentes facultativos, y que la mayoría de los Ingenieros cese de mirar con injustificado desdén esta rama del servicio, la que más títulos puede darles, como con sano criterio decía Dupuit, á la consideración social.

Se terminará esta sección, reseñando las diferentes categorías del personal afecto en España á la conservación y reparo de carreteras, así como los principales preceptos administrativos que están hoy en vigor.

CAPÍTULO V.

ORGANIZACIÓN EN ESPAÑA DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN.

I.—PERSONAL.

Peones camineros y capataces.—Los peones camineros se instituyeron en España en 1794. Su organización ha sufrido

diferentes vicisitudes y hoy se ajusta á lo que previene el Reglamento aprobado por Real orden de 19 de Enero de 1867, modificado en algunos puntos por disposiciones posteriores.

Fijaba el Reglamento en 3 kilómetros la longitud de carretera encomendada á cada peón; pero facultando para aumentar el personal en los puntos que las circunstancias lo exigieren: 15 á 20 kilómetros consecutivos formaban un trozo de que era jefe un *capataz*, el cual y los camineros á sus órdenes constituían una *cuadrilla*. Sin embargo, en virtud de las economías introducidas en los presupuestos de 1888-89 y mantenidas en los siguientes, la base de la distribución es confiar á cada caminero la conservación de *cuatro kilómetros*, y asignar de *veinte á veinticinco* á cada capataz, exceptuando los casos en que sea indispensable mantener el reparto antiguo.

El nombramiento de peones se ha hecho de maneras muy diferentes, dentro de las condiciones de edad (veinte á cuarenta años), aptitud para el trabajo y buena conducta, que señala el Reglamento; mas la que mejor éxito tuvo fué la de atribuir la elección á los Ingenieros Jefes, previa propuesta de los subalternos, que siempre preferían á los auxiliares prácticos en los trabajos. Actualmente, la ley de 10 de Julio de 1885, llamada, en el lenguaje vulgar, *de sargentos*, establece que las plazas de peones se han de cubrir por precisión en licenciados del ejército, y las disposiciones dictadas para su cumplimiento preceptúan que mensualmente se pase nota de las vacantes al Ministerio de la Guerra por el de Fomento: aquél las anuncia en la *Gaceta de Madrid* y los interesados elevan instancia documentada: en vista de los antecedentes que suministran las hojas de servicio respectivas, por el expresado Ministerio de la Guerra se hace la propuesta de los individuos que deben ser nombrados, correspondiendo á los Ingenieros Jefes de provincia la expedición del correspondiente título. Desde el punto de vista técnico, no hay para qué decir que el procedimiento deja muchísimo que desear, pues lógicamente ha de ocurrir á menudo que no estén dotados de grandes aptitudes para las faenas de conservación los individuos que mejor hayan cumplido con los deberes militares. Sin embargo, el legislador se propuso sin duda fines de orden más elevado, cuyo examen no sería pertinente en

este sitio, y que quizá convenga alcanzar, aunque sea con perjuicio de una de las funciones de la Administración pública.

Pueden optar á las plazas de capataces, según el Reglamento vigente, los peones camineros que sepan leer y escribir y que hayan servido dos años su cargo con probidad y celo, á satisfacción de sus Jefes. Si no hubiere camineros que reúnan aquellos requisitos, lo que no es probable ocurra nunca, se admiten para cubrir vacantes á los sargentos de ejército ó cabos de la Guardia civil.

Los camineros y capataces están uniformados; se les provee de un jalón indicador de los kilómetros que tienen á su cargo, y de una cartera de cuero donde llevan un ejemplar del Reglamento, otro del de Policía de carreteras, y una libreta en que se consiguan las tareas que se les impone, y en la que sus Jefes hacen las anotaciones que juzguen oportunas. Los peones usaron carabinas hasta 14 de Marzo de 1873, en que se suprimió oportunamente el armamento, fundándose sobre todo en lo frecuente que era el que las autoridades, considerándolos como fuerza pública, los distrajesen del objeto de su instituto, dejando abandonadas las carreteras.

Los peones camineros y capataces, además de cumplir las órdenes de sus superiores y de ejecutar ó vigilar las obras de conservación, están obligados á cuidar de las herramientas, materiales, enseres y vestuario, y á velar por el cumplimiento de las Ordenanzas de policía, la seguridad del tránsito y la buena conservación de las líneas telegráficas: este último cometido se les impuso por Decreto de 24 de Marzo de 1869, expedido por el Ministerio de la Gobernación, habiéndose aprobado las instrucciones oportunas, de común acuerdo entre aquél y el de Fomento, por Real orden de 3 de Febrero de 1871.

Con sujeción á lo establecido, aunque no siempre se cumple por deficiencias de presupuesto, los capataces y peones tienen opción, aparte de otras ventajas, á premios anuales respectivos de 40 y 25 pesetas, cuando se hagan acreedores á ellos por su comportamiento, pero en la inteligencia de que sólo puede ser premiado un caminero en cada cuadrilla y un capataz en cada cuatro trozos.

Por último, los peones están obligados á recorrer toda su demarcación, por lo menos un día sí y otro no; los capataces se

ajustan, para la vigilancia de su trozo, á las órdenes que reciban del Ingeniero.

Sobrestantes y Ayudantes.—Hasta hace poco tiempo, siempre que el personal afecto á una provincia lo permitía, en cada carretera había uno ó más Sobrestantes, según la longitud de aquélla, á las órdenes de un Ayudante, que era el que inmediatamente se entendía con el Ingeniero encargado. La Instrucción vigente para indemnizaciones, aprobada por Real orden de 24 de Octubre de 1889, establece que la Dirección general de Obras públicas, á propuesta de los Ingenieros Jefes, ha de determinar las carreteras ó secciones de las mismas en que, por la escasa cuantía de su presupuesto de conservación ó por las condiciones en que se encuentren, se hayan de vigilar por un solo subalterno de la clase de Ayudantes ó Sobrestantes. El criterio que se ha adoptado, á lo menos en varias provincias, es conservar individuos de ambas categorías en las carreteras de primer orden, ayudantes en las de segundo y sobrestantes en las de tercero; si bien la regla sufre á veces excepciones, motivadas siempre por la frecuentación ú otras circunstancias especiales.

El número mínimo de visitas á las carreteras en conservación, lo fijó la circular de 24 de Agosto de 1870 en dos mensuales, para las dos categorías del personal auxiliar, prescribiendo que en ningún caso ha de exceder de 100 kilómetros la extensión encomendada á cada funcionario.

Ingenieros subalternos y Jefes.—De la conservación de carreteras del Estado enclavadas en una provincia se encargan los Ingenieros subalternos afectos á la misma, verificándose el reparto entre ellos, de suerte que cada uno no tenga á su cuidado arriba de 250 kilómetros, según previene la circular de 1870, la cual determina que el Ingeniero haga por lo menos seis visitas al año. Nunca se insistirá bastante en la necesidad de que la vigilancia personal sea asidua y de que todos los agentes, hasta los peones inclusive, estén convencidos de que el Ingeniero se presenta con frecuencia y sin aviso previo á inspeccionar los trabajos: sólo así, y procediendo con rigor saludable, se logrará que todos cumplan y que no se malgasten los cuantiosos fondos que el país dedica á esta importantísima atención.

El Ingeniero Jefe es, conforme expresa el Reglamento del Cuerpo, de 28 de Octubre de 1863, el principal encargado responsable en cada provincia de los diferentes ramos en que se divide el servicio de Obras públicas. Á él toca, por tanto, distribuir el de conservación, informar los proyectos ó presupuestos que redacten los subalternos, dar á éstos las instrucciones oportunas para que exista unidad en la organización, y visitar en persona las carreteras, á lo menos dos veces al año, á tenor de lo dispuesto en la circular mencionada.

II.—PRINCIPALES DISPOSICIONES ADMINISTRATIVAS.

Por Real orden de 1.º de Diciembre de 1858 se aprobó la instrucción que había de regir en la ejecución de obras de conservación y reparo de carreteras; pero hoy está derogada en casi todas sus partes y se juzga muy oportuno examinar, siquiera sea con brevedad, el sistema administrativo vigente respecto á consignaciones, acopios, mano de obra, etc., reseñando asimismo las principales disposiciones contenidas en el Reglamento para la conservación y policía de carreteras.

Consignaciones anuales y mensuales.—En vista de los presupuestos remitidos por los Ingenieros Jefes y de las cantidades incluídas en el del Estado, se establece de Real orden la cantidad que á cada provincia corresponde para todo el año económico. Los Ingenieros subalternos redactan y los Jefes remiten á la Superioridad los oportunos presupuestos de acopios para las carreteras de su provincia, con arreglo á la distribución del crédito total que los mismos Ingenieros Jefes estimen más conveniente, en atención al estado del firme de cada una de las vías que se hallan á su cargo. En estos últimos años, preceptúa el Gobierno, en las Reales órdenes relativas á consignaciones, que se invierta en material el 60 por 100, á lo menos, del crédito concedido, de suerte que la mano de obra no exceda nunca del 40 por 100 restante.

Fijada la consignación á cada provincia, los Ingenieros Jefes hacen todos los meses los pedidos de fondos, con sujeción á las exigencias probables de la conservación normal y del empleo de la piedra una vez verificado su acopio. Este sistema es mucho

más lógico que el que antes se seguía de no librar las consignaciones mensuales sin que se formasen previamente presupuestos y fuesen aprobados por la Dirección general, pues los retrasos eran inevitables, no se podía disponer de los fondos con oportunidad, y como consecuencia forzosa, los firmes estaban malos y se resentía el tráfico.

La Administración central reserva siempre la parte que juzga conveniente del crédito legislativo para conservación y reparos, á fin de atender á cualquier eventualidad que sobrevenga durante el año.

Clasificación de carreteras y personal afecto al servicio.—La Instrucción de 1858 daba reglas minuciosas para clasificar las carreteras en cada provincia, tomando como base el estado en que se encontrasen y las sumas de que se dispusiera. En resumen, los grupos debían ser tres: 1.º, el de las carreteras en mal estado, cuya reparación podía quedar terminada en el año con los recursos concedidos; 2.º, el de los trozos ya reparados y que se hallaban, por tanto, en conservación; y 3.º, el de los que, aunque en situación inaceptable, no fuese factible reparar dentro del año. Los dos primeros grupos eran aquéllos á que los Ingenieros habían de consagrar atención preferente, pues en las carreteras incluídas en el último, sólo debían ejecutarse los trabajos indispensables para mantener la vialidad.

Las prescripciones reseñadas no se han derogado de manera explícita; pero como la clasificación obedecía á circunstancias del momento, han dejado de observarse. La práctica es hoy considerar en estado de conservación á todas las carreteras, excepto las que por cualquier causa hayan sufrido desperfectos de entidad, para las cuales se redacta el correspondiente proyecto, previa autorización de la Dirección general. Aprobado aquél, después de seguir los trámites marcados, ejecútanse las obras cuando lo dispone el Gobierno.

Nada se dirá aquí de las reglas que establecía dicha Instrucción respecto á los agentes facultativos que han de intervenir en el servicio y á la forma en que lo han de verificar, porque sobre este particular rigen ahora otros preceptos, que ya se puntualizaron en el artículo anterior.

Acopios.—Los acopios de piedra machacada, ya se destinen á conservación ó á reparos, se hacen siempre por contrata. Los Ingenieros redactan un presupuesto para cada carretera, sea cualquiera el número de trozos comprendidos en la provincia, ciñéndose á la Real orden de 2 de Agosto de 1887 y á los formularios que la acompañan y que se insertan al final de este capítulo. Aparte del informe del Ingeniero Jefe, los documentos que constituyen un proyecto de suministro de material son los siguientes: 1.º *Memoria*, 2.º *Pliego de condiciones facultativas*, 3.º *Pliego de condiciones particulares y económicas*, 4.º *Presupuesto*.

En la Memoria, que ha de ser lo más sucinta posible, se justifican la cantidad de acopios propuesta, el sistema de ejecución y los precios adoptados: esto último se hace por comparación con los aprobados en condiciones análogas, incluyéndose al efecto un cuadro al final del documento.

El pliego de condiciones facultativas debe sujetarse al modelo, presentándose impreso en todas sus partes, menos en lo referente á dimensiones, que van manuscritas.

El pliego de condiciones particulares y económicas se redacta por los Ingenieros, con arreglo al modelo correspondiente, siempre que el presupuesto no exceda de 10.000 pesetas; en caso contrario, se forma por la Dirección general de Obras públicas.

El presupuesto, como el de los proyectos de obras nuevas de carreteras (1), se divide en capítulos, disponiendo el cuadro número 1, ó sea el de precios, con sujeción al tipo que se acompaña. Las prescripciones relativas á papel, márgenes, epígrafes, cosido de documentos, etc., son idénticas á las que se establecen en las advertencias que preceden á los formularios de 1886 para obras de nueva construcción.

De las condiciones y presupuesto se hacen dos ejemplares, y uno solo de la Memoria é informe del Ingeniero Jefe.

Las subastas se celebran ateniéndose á las disposiciones del Real decreto de 27 de Febrero de 1852 y á la Instrucción aprobada por Real orden de 11 de Septiembre de 1886. En su virtud, siempre que el presupuesto pasa de 10.000 pesetas, verificase la

(1) Véase Apéndice núm. 1.

licitación ante la Dirección general de Obras públicas, y en caso contrario ante los Gobernadores respectivos, salvo lo que en circunstancias particulares disponga el Gobierno.

Mano de obra y disposiciones generales.—El empleo de los acopios y los trabajos de obras de tierra y fábrica de poca importancia, se ejecutan comúnmente por administración.

La Real orden de 1.º de Diciembre de 1858 recomienda á los Ingenieros que observen con escrupulosidad cuanto previenen las Instrucciones de 24 de Abril de 1856 sobre circunstancias de la piedra y recebo, consolidación de recargos, métodos y condiciones generales para la ejecución, dirección y vigilancia de las obras, etc., etc., en toda la parte en que dichas reglas no hayan sido modificadas ó anuladas. Desgraciadamente estos preceptos oficiales distan muchísimo de poder admitirse sin restricciones: ya se censuró alguno de ellos (pág. 92), y no se cree indispensable hacer un estudio detallado de los demás, porque la lectura de cuanto antecede es muy bastante para poder apreciar los principios que no están conformes con los resultados de la práctica.

Reglamento para la conservación y policía de las carreteras.—Fué aprobado por Real orden de 19 de Enero de 1867 y modificado uno de sus artículos por Orden del Regente del Reino, de 30 de Julio de 1869.

No es factible reseñar todas las reglas que se establecen ni las multas que se exigen á los contraventores, previa denuncia presentada por el capataz, peón ó cualquier persona ante el Alcalde respectivo. Bastará citar algunas de las principales: 1.ª Los carruajes y caballerías marcharán siempre por el firme, prohibiéndose su tránsito por los paseos. 2.ª La plancha se ajustará al modelo aprobado y no se usará sino en las cuestas y distancias marcadas por los Ingenieros. 3.ª No se dejará suelto ningún carruaje delante de las posadas ni en otro sitio del camino. 4.ª Las caballerías, recuas, ganados y vehículos de toda especie dejarán libre la mitad de la calzada, y en los cruces se arrimará cada uno de los últimos á su respectivo lado derecho. 5.ª Á menos de 25 metros de distancia de la carretera no se podrá construir edificio alguno, corral para ganados, alcantarilla ú obra que salga del camino á las posesiones contiguas, ni establecer presas, artefactos

ó cauces para la toma y conducción de aguas, sin la correspondiente licencia. Tampoco será lícito hacer represas, pozos ó abrevaderos á menos de 25 metros de la parte exterior de los puentes y alcantarillas y de las márgenes de los caminos, ni practicar calicatas ni cualquier otra operación minera, á distancia menor de 40 metros de la vía. Las peticiones de licencia se deben dirigir al Alcalde, quien resuelve, previo informe del Ingeniero, el cual tiene derecho á exigir plano de la obra proyectada, si lo estimare necesario, para redactar su dictamen. En caso de suscitarse contestaciones con motivo de la alineación ó requisitos facultativos señalados por el Ingeniero, el Alcalde suspenderá el procedimiento y remitirá el expediente al Gobernador, quien dictará su fallo, oyendo al Ingeniero Jefe, ó elevará el asunto á la Administración central, si hallare causa para no conformarse con el parecer de aquel funcionario.

Los peones camineros, capataces y demás empleados de caminos tienen cualidad de guardas jurados para perseguir á los infractores de las Ordenanzas.

Los Alcaldes están obligados á resolver de plano respecto á las denuncias que se presenten, oyendo á los interesados. Si alguna de aquellas autoridades se negase á admitir las denuncias, los subalternos de Obras públicas deben poner el hecho en conocimiento del Ingeniero Jefe, por conducto de sus superiores inmediatos, y aquél transmitirá la queja al Gobernador, y en su caso á la Dirección general.

De las multas que se exijan, se aplica la tercera parte al denunciador; el tercio del mínimo de lo que en cada circunstancia señala el Reglamento, al Alcalde, y el resto á los gastos de conservación del camino.

FORMULARIOS PARA LA REDACCIÓN DE PROYECTOS

DE

ACOPIOS DE CONSERVACIÓN.

PLIEGO de condiciones facultativas que, además de las generales aprobadas por Real decreto de 11 de Junio de 1886, deberán observarse en el acopio y machaqueo de piedra para la conservación, durante el año económico de 18..... à, de la carretera de orden de

ARTÍCULO 1.º

Obligaciones del Contratista.

El Contratista se compromete á acopiar y machacar el número de metros cúbicos que designa el presupuesto, en los términos que prescribe este pliego de condiciones y al precio que figura en aquél.

ARTÍCULO 2.º

Operaciones que ha de ejecutar.

Es de cuenta del Contratista:

- 1.º La saca y extracción de piedra que comprende su contrato.
- 2.º Su machaqueo.
- 3.º Su transporte hasta el punto que se le designe en el kilómetro correspondiente.
- 4.º Su apilamiento y arreglo en dicho punto.

ARTÍCULO 3.º

Calidad de la piedra.

(a). La piedra que ha de acopiarse será precisamente de igual ó mejor calidad y naturaleza que la de las canteras que se indican en el adjunto cuadro y respectivamente para los kilómetros que en el mismo se citan, sin que se entienda el Contratista obligado á traerla de las que se designan en el repetido cuadro.

KILÓMETROS.	Calidad de la piedra.	CANTERAS Ó PROCEDENCIA.

(b). En caso de que sea admisible el canto rodado, se expresarán sus dimensiones mínimas.

ARTÍCULO 4.º

Machaqueo. En este artículo se expresará el tamaño á que deba quedar reducida por el machaqueo la piedra ó canto rodado, y si aquél ha de hacerse ó no por el operario sentado con porrillo de una mano y en yunque, ó de pie y con porrillo de dos manos; cuando se emplee cascajo, se detallarán las operaciones que sean necesarias, y lo mismo con el canto rodado.

ARTÍCULO 5.º

Limpieza. La piedra, después de machacada, deberá hallarse bien limpia de detritos, polvo, tierra y demás substancias que puedan ser perjudiciales á su empleo y buen aspecto.

ARTÍCULO 6.º

Sitios en que debe machacarse. El machaqueo se verificará fuera de la línea, en los puntos que el Contratista crea más conveniente á sus intereses; pero si no pudiera prescindir de verificarlo sobre ella, podrá hacerlo, previo permiso del Ingeniero encargado, que solamente lo concederá en caso de absoluta necesidad.

ARTÍCULO 7.º

Apilamiento y arreglo sobre los paseos. (a). La piedra, después de machacada, se conducirá al lugar en que se ha de emplear, y allí se apilará sobre los paseos en montones del volumen que el Ingeniero designe y en los puntos que marque del kilómetro respectivo.

(b). El mismo Ingeniero designará también las distancias á que los montones deberán colocarse unos de otros y la forma que deberá darse á cada uno, cuidando en todo caso de no ocupar con

los acopios ninguna parte del firme de la carretera y de dejar entre los montones espacios suficientes para la salida de las aguas.

ARTÍCULO 8.º

Casos en que los materiales no sean de condiciones.

Cuando la piedra no satisfaga á lo que se determina en los artículos anteriores, el Contratista se atenderá á lo que sobre este punto le ordene por escrito el Ingeniero encargado de la carretera, para el cumplimiento de lo preceptuado en los respectivos artículos del presente pliego y en el 24.º del de condiciones generales.

ARTÍCULO 9.º

Definición del metro cúbico de piedra.

Se entiende por *metro cúbico de piedra* la cantidad de este material necesaria para llenar, después de machacada, un cajón que tenga la capacidad de un metro cúbico. Refiriéndose los precios del cuadro número uno (1) al metro cúbico definido de esta manera, no se admitirá acerca de ellos reclamación alguna por mermas procedentes de machaqueo ú otras causas,

ARTÍCULO 10.º

Modo de abonar los acopios de conservación.

Los acopios de conservación se abonarán por el volumen que resulte en las pilas, ó por medio del cajón métrico, á los precios que para el metro cúbico se fija en el presupuesto: estos precios son invariables y comprenden todas las operaciones que ha de ejecutar el Contratista para dejar los materiales acopiados al pie de obra en la forma que prescriba el Ingeniero.

ARTÍCULO 11.º

In demeraciones de daños y perjuicios.

Es de cuenta del Contratista el pago de las indemnizaciones de cantera, así como el abono de daños y perjuicios de los terrenos de dominio público ó particular, que se ocasionen por ocupación temporal ó por otra causa cualquiera en todas las operaciones que son de su cargo y con arreglo á estas condiciones.

ARTÍCULO 12.º

Modo de abonar las obras concluidas y las incompletas.

(a). Las obras concluidas se abonarán con arreglo á los precios designados en el cuadro número uno (1) del presupuesto.

(b). Cuando por consecuencia de rescisión ó por otra causa fuese preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del cuadro número dos (2), sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra fraccionada en otra forma que la estable-

cida en dicho cuadro; si hubiera que recibir piedra en grueso ó sin machacar, se valorará descontando de su volumen el..... por ciento (100) por las mermas que ha de sufrir.

(c). En ninguno de estos casos tendrá derecho el Contratista á reclamación alguna fundada en la insuficiencia de los precios de los cuadros ó en omisiones del coste de cualquiera de los elementos que constituyen los referidos precios.

ARTÍCULO 13.º

Modo de abonar las obras defectuosas, pero aceptables.

Si el acopio ó alguna parte de él no se hallase exactamente ejecutado con arreglo á las condiciones antedichas, y fuese, sin embargo, admisible, podrá ser recibido en su caso; pero el Contratista quedará obligado á conformarse, sin derecho á reclamación de ningún género, con la rebaja que la Administración apruebe, salvo el caso en que el Contratista prefiera hacerlo con arreglo á las condiciones de la contrata.

ARTÍCULO 14.º

Condiciones para fijar precios contradictorios en obras no previstas.

Si ocurriese algún caso excepcional é imprevisto, en el cual sea absolutamente necesaria la designación de precio contradictorio entre la Administración y el Contratista, este precio deberá fijarse con arreglo á lo establecido en las condiciones generales. La fijación del precio habrá de hacerse precisamente antes de que se ejecute la obra á que hubiere de aplicarse; pero si por cualquier causa hubiese sido ejecutada antes de llenar este requisito, el Contratista quedará obligado á conformarse con el precio que para la misma señale la Administración.

ARTÍCULO 15.º

Relaciones valoradas mensuales.

El Ingeniero formará, antes del día quince de cada mes, una relación valorada de las obras ejecutadas en el anterior, con sujeción al cuadro número dos (2) de precios elementales del presupuesto. El Contratista, que podrá presenciar las operaciones preliminares para extender esta relación, tendrá un plazo de diez (10) días para examinarla, y dentro de él deberá consignar su conformidad, ó hacer, en caso contrario, las reclamaciones que considere convenientes.

ARTÍCULO 16.º

Resoluciones respecto de las reclamaciones del Contratista.

El Ingeniero encargado de la carretera transmitirá al Ingeniero Jefe las relaciones valoradas de que trata el artículo anterior, con las reclamaciones que hubiese hecho el Contratista, acompañando su informe acerca de éstas. El Ingeniero Jefe, reconociendo las obras que comprendan las relaciones, si á su juicio lo requiere así la importancia del caso, aceptará ó desechará la no conformidad ó reclamaciones que en aquéllas hubiese consignado el Contratista.

Este, en todo caso, podrá reclamar ante la Dirección general de Obras públicas contra la resolución del Ingeniero Jefe.

ARTÍCULO 17.º

Remisión de las certificaciones á la Dirección general.

Las certificaciones mensuales de las obras ejecutadas, se remitirán á la Dirección general de Obras públicas dentro del mes siguiente al en que se hubieren ejecutado las obras á que correspondan.

ARTÍCULO 18.º

Plazo de ejecución y cantidad de obra que se ha de ejecutar mensualmente.

En este artículo se expresarán en un estado el número de meses que ha de durar la contrata y el de metros cúbicos que ha de acopiar el Contratista en cada uno de aquéllos.

ARTÍCULO 19.º

Recepción definitiva.

La recepción será única y definitiva, y tendrá lugar una vez terminados los acopios.

ARTÍCULO 20.º

Obligaciones del Contratista en casos no expresados terminantemente en condiciones.

Es obligación del Contratista ejecutar cuanto sea necesario para la buena explotación de canteras y demás operaciones del acopio, aun cuando no se halle expresamente estipulado en estas condiciones, siempre que sin separarse de su espíritu y recta interpretación lo disponga por escrito el Ingeniero Jefe de la provincia, con derecho á la reclamación correspondiente por el Contratista ante la Dirección general, dentro del término de los diez (10) días siguientes al en que haya recibido la orden.

ARTÍCULO 21.º

Documentos que puede reclamar el Contratista.

(a). El Contratista, conforme á lo dispuesto en los artículos 5.º y 8.º del pliego de condiciones generales, podrá sacar á sus expensas, pero dentro de la oficina del Ingeniero precisamente, copias de los documentos del proyecto que forman parte de la contrata, cuyos originales le serán facilitados por el Ingeniero, el cual autorizará con su firma las copias, si así conviniere al Contratista.

(b). También tendrá derecho á sacar copia de las relaciones valoradas que se formen mensualmente y de las certificaciones expedidas.

ARTÍCULO 22.º

Advertencia sobre la correspondencia oficial del Ingeniero y Contratista.

El Contratista tendrá derecho á que se le acuse recibo, si lo pide, de las comunicaciones y reclamaciones que dirija al Ingeniero encargado de las obras; á su vez estará obligado á devolver al Ingeniero, ya originales, ya en copias, todas las órdenes y avisos que de él reciba, poniendo al pie *Entevado*.

Fecha.

(Sello.)

El Ingeniero autor del proyecto,

(Firma entera.)

EXAMINADO.

El Ingeniero Jefe de la provincia,

(Media firma.)

CONDICIONES particulares y económicas que, además de las facultativas correspondientes y de las generales aprobadas por Real decreto de 11 de Junio de 1886, han de regir en la contrata de acopios para conservación de la carretera de

.....

.....

1.^a Para poder tomar parte en la subasta se hará por cada licitador un depósito, equivalente al uno (1) por ciento (100) del presupuesto para cuyos acopios presente proposición, en la sucursal de la Caja de Depósitos de ó en la general de Madrid. El depósito se retendrá al mejor postor hasta que se otorgue la escritura de contrata, verificado lo cual le será devuelto.

2.^a El rematante quedará obligado á otorgar la correspondiente escritura ante el Notario del Gobierno civil que actúe en la subasta, dentro del término de *veinte* días, contados desde la fecha de la aprobación del remate y previo el pago de los derechos de inserción en la *Gaceta* y *Boletín oficial* de la provincia citada.

3.^a Antes del otorgamiento de la escritura deberá el rematante consignar como fianza en la sucursal de la Caja de Depósitos ó en la general de Madrid, en metálico ó efectos de la Deuda pública, al tipo asignado por las disposiciones vigentes, el cinco (5) por ciento (100) del presupuesto de contrata.

4.^a La fianza no será devuelta al Contratista hasta que se apruebe la recepción y liquidación definitivas y se justifique el pago total de la contribución de subsidio industrial y de los daños y perjuicios.

5.^a Se dará principio á la ejecución de las obras dentro del término de *veinte* días á contar desde la fecha de aprobación del remate, y deberán quedar terminadas en el plazo de

6.^a Todos los gastos de liquidación serán de cuenta del Contratista.

7.^a Se acreditará mensualmente al Contratista el importe de las obras ejecutadas, con arreglo á lo que resulte de las certificaciones expedidas por el Ingeniero, excepto en el caso á que se refiere la condición siguiente, y su abono se hará en metálico, sin descuento alguno, por la Administración de la provincia.

8.^a El Contratista podrá desarrollar los trabajos en mayor escala que la necesaria para ejecutar las obras en el tiempo prefijado. Sin em-

bargo, no tendrá derecho á que se le abone en un mes mayor suma de la que corresponda á prorrata, teniendo en cuenta la cantidad del remate y el plazo de ejecución. Por tanto, los derechos que el artículo 38.º de las condiciones generales concede al Contratista, no se aplicarán partiendo como base de la fecha de las certificaciones, sino de la época en que deben realizarse los pagos.

..... de de 18

(Sello.)

El Ingeniero autor del proyecto,

(Firma entera.)

EXAMINADO.

El Ingeniero Jefe de la provincia,

(Media firma.)

Cuadro núm. 1.

TROZOS

Número de orden.	DESIGNACIÓN DE LA NATURALEZA DE LAS OBRAS	Grupos de kilómetros.	PRECIO EN LETRA.	Precios en guarismos,	
				Pesetas.	Cénts.

NOTAS.—1.^a En este estado se pondrá el precio para cada uno de los kilómetros de la carretera en que se ha de acopiar; y cuando resulte igual en varios de ellos, se podrán poner bajo una llave.

2.^a Este estado se autorizará en la misma forma que los documentos anteriores.

SECCIÓN CUARTA.

PROYECTOS DE CARRETERAS.

Divídese esta sección en seis capítulos. Se dedica el primero al estudio de la influencia que ejercen en la tracción los principales elementos de que depende, y de las condiciones técnicas de rasantes y curvas á que deben sujetarse los proyectos de carreteras; el segundo, á la exposición de las consideraciones administrativas, políticas y facultativas que han de tenerse en cuenta en los estudios; el tercero, á los reconocimientos indispensables para elegir la zona en que conviene desenvolver la traza; el cuarto, á enumerar los datos de toda especie que han de recogerse en el campo; el quinto, á los trabajos de gabinete, comprendiendo la representación gráfica de la zona, el estudio de la traza, en planta y perfil, y la redacción del proyecto; y el sexto, al modo de presentar éste, examinando los diversos formularios que han regido en España, y muy especialmente los actuales.

CAPÍTULO I.

ESTUDIOS SOBRE TRACCIÓN, PENDIENTES Y CURVAS.

Se subdivide en cuatro artículos: 1.º Estudio de la tracción, prescindiendo de la influencia de las pendientes. 2.º Examen de los efectos que éstas producen. 3.º Principios para la elección y distribución de pendientes. 4.º Influencia de las curvas.

I.—ESTUDIO DE LA TRACCIÓN, PRESCINDIENDO
DE LA INFLUENCIA DE PENDIENTES.

Se darán á conocer los resultados deducidos por el General de Artillería Morin y el Ingeniero Dupuit, contradictorios en gran parte, lo que obligará á entrar en ciertas consideraciones (1).

Ensayos de Morin.—Los experimentos ejecutados por Morin, desde 1837 á 1841, en el Parque de Artillería de Metz, por orden de los Ministros de la Guerra y de Obras públicas, se consignaron en un tomo publicado en 1842, del cual se extractan los principios más importantes.

ROZAMIENTO DE RODADURA.—Comenzó Morin por medir la resistencia de cilindros á la rodadura, con objeto de comprobar la exactitud de la ley de Coulomb, que, como es sabido, establece que aquélla varía en razón directa de la presión é inversa del radio de los rodillos. En otros términos, suponiendo aplicada la resistencia, R , tangencialmente á la sección recta del rodillo, y llamando P á la presión y r al radio, debe tenerse:

$$R = A \frac{P}{r},$$

siendo A un coeficiente que depende tan sólo de la naturaleza de la superficie de rodadura.

Morin practicó sus trabajos con cilindros más ó menos cargados, que hacía mover á lo largo de dos vigas horizontales, solicitándolos con pesos suplementarios que se aplicaban tangencialmente en sentido del movimiento, y que graduaba por tanteos hasta lograr que los rodillos marchasen con velocidad constante. En tales circunstancias, es claro que los pesos equilibraban á las resistencias pasivas ocasionadas por el roce.

Las conclusiones de estos primeros ensayos fueron las siguientes:

1.^a En cuerpos fibrosos como la madera, en tejidos esponjo-

(1) Para la exposición de cuanto se dice en este artículo, se ha seguido el sistema empleado por Debauve en su obra.

sos como el cuero y en materias granillosas como el yeso, la resistencia varía en razón inversa del diámetro de los cilindros.

2.^a En cuerpos compresibles, la resistencia aumenta cuando disminuye el ancho de la zona de contacto.

3.^a En la rodadura de cilindros sobre superficies elásticas, como la del caucho, la profundidad de las impresiones es sensiblemente proporcional á la carga, mientras no se altera la elasticidad; pero aumenta cuando disminuye el ancho del rodillo. La reacción elástica, ó sea la velocidad con que las substancias vuelven á su posición primitiva, no es instantánea en el caucho, y ha de ser mucho menor en los firmes de piedra partida: por consiguiente, no hay que contar con que las superficies de rodadura devuelvan á las ruedas parte del trabajo que recibieron; este fenómeno no se verifica ni siquiera en los caminos de hierro, á pesar de la rapidez de la reacción elástica de los carriles, á consecuencia de la velocidad de marcha de los trenes.

4.^a La experiencia demuestra que en las maderas, y en general en los cuerpos cuya elasticidad se altera por la presión, la resistencia crece más de prisa que aquélla. Parece, por tanto, que los pavimentos de madera han de ser más ventajosos en vías sometidas al tránsito de coches ligeros, que en las frecuentadas por vehículos pesados.

De todo ello dedujo Morin que la ley de Coulomb no es exacta, pero que puede aplicarse en los casos corrientes de la práctica con bastante aproximación.

TRACCIÓN DE VEHÍCULOS.—Se efectuaron los ensayos con tres clases de aparatos:

1.^o Con un árbol de hierro colado, en cuyos extremos se montaban poleas idénticas y en número variable, con objeto de estudiar la influencia del ancho de la zona de contacto; la sobrecarga se componía de discos metálicos atravesados por el eje. Por medio de una tracción constante, tangente á aquél y deducida por tanteos, se llegaba á imprimir al conjunto movimiento uniforme de rodadura en diversas clases de superficies. Calculábase en cada caso la resistencia aplicada al contorno de las poleas, multiplicando el peso motor por la relación entre los diámetros del eje y de aquéllas, determinándose así la influencia de las circunstancias en

que se verificaban los experimentos. El tiempo y la longitud recorrida se medían con aparatos perfeccionados.

2.º Con un árbol, también de hierro colado, en que se modificaban la anchura de llantas y el diámetro de las ruedas con poleas, como en los ensayos anteriores; pero enlazando el eje por sus extremos á un bastidor metálico, al que se enganchaban una ó más caballerías, transmitiéndose la tracción por intermedio de un dinamómetro de punzón (pág. 32).

3.º Con vehículos ordinarios, cuyas varas ó lanza se unían al dinamómetro, y que fueron los más empleados en los experimentos.

Las causas que pueden ejercer influencia más definida é importante en la intensidad del tiro y en la destrucción de los firmes, prescindiendo de las pendientes, cuyos efectos se estudiarán más adelante, son: 1.ª, la carga ó presión sobre el suelo; 2.ª, el radio de las ruedas; 3.ª, la anchura de las llantas; 4.ª, la velocidad; 5.ª, el ángulo de la línea de tracción con la rasante, y 6.ª, la suspensión ó elasticidad más ó menos perfecta del vehículo.

Conservando constantes todos los elementos anteriores menos uno, se determinaba la influencia de éste, deduciendo en cada ensayo el esfuerzo de tiro, T , que correspondía á valores conocidos de la inclinación, i , de la rasante con el horizonte (1); del ángulo, α , de la línea de tracción con aquélla; del peso, P , del árbol y su sobrecarga; del peso, p , del bastidor y las piezas de enganche, el cual peso ejerce presión en los muñones del eje. Llamando además h al desnivel total del suelo en la longitud recorrida, L , se tendrá desde luego que $\text{sen } i = \frac{h}{L}$. La presión total transmitida al suelo por las ruedas será $P + p$; y como p es constante, sólo podrá variar P .

El movimiento del vehículo se conservaba sensiblemente uniforme en todo el ensayo, de suerte que la ecuación del trabajo se obtenía igualando el de las fuerzas motrices al de las resistencias.

La potencia T obra en la longitud L y hace con ésta el ángulo α : el trabajo motor será, pues, $TL \cos \alpha$.

(1) Se supone que i es bastante pequeña para que la tracción se efectúe en las mismas condiciones que en terreno llano.

El trabajo resistente comprende: 1.º, el debido á la gravedad, $(P + p) h$; 2.º, el desarrollado por la reacción, R , que opone el suelo á la rueda, resistencia que se considera aplicada tangencialmente á aquélla; y como el camino recorrido por el punto de aplicación es L , el trabajo resultará igual á RL ; 3.º, el originado por el roce del muñón con el bastidor. Este último se calcula observando que el muñón está sometido á dos fuerzas: la de tiro, T , que forma el ángulo $\alpha + i$ con la horizontal, y el peso p ; la resultante de ambas es el tercer lado de un triángulo en que los otros dos son T y p , que hacen entre sí el ángulo $90^\circ - \alpha - i$ y tiene por expresión:

$$\sqrt{T^2 + p^2 - 2Tp \operatorname{sen}(\alpha + i)}.$$

Multiplicando esta cantidad por el coeficiente de rozamiento, que se llamará φ , y teniendo en cuenta que el camino que recorre el punto de aplicación es igual á L multiplicada por la relación del radio ρ del muñón al r de la rueda, resultará para el valor del tercer trabajo resistente:

$$L \frac{\varphi \rho}{r} \sqrt{T^2 + p^2 - 2Tp \operatorname{sen}(\alpha + i)}.$$

La ecuación final del trabajo será, pues:

$$TL \cos \alpha = \pm (P + p) h + RL + L \frac{\varphi \rho}{r} \sqrt{T^2 + p^2 - 2Tp \operatorname{sen}(\alpha + i)}.$$

Obsérvese que al primer término del segundo miembro se le afecta del signo \pm , porque el trabajo á que se refiere será resistente en las subidas y motor en las bajadas.

De la ecuación precedente se saca:

$$R = T \cos \alpha \mp (P + p) \frac{h}{L} - \frac{\varphi \rho}{r} \sqrt{T^2 + p^2 - 2Tp \operatorname{sen}(\alpha + i)}.$$

Despreciaba Morin el último término, fundándose en que ordinariamente $\frac{\rho}{r} = 0,002$, $\varphi = 0,065$ y $\operatorname{sen} \alpha = 0,262$, y en que, sustituyendo estos valores y haciendo $i = 0$, que es la inclinación de rasante que corresponde al máximo de la cantidad subradi-

cal, resulta siempre que la resistencia producida por el roce del muñón es inferior á 0,02 T . Prescindiendo de ella y tomando cos $\alpha = 0,967$, guarismo que está de acuerdo con el hallado experimentalmente, se reduce la fórmula á

$$R = 0,967 T \mp (P + p) \frac{h}{L}$$

Como en cada ensayo se conocen P , p , h y L y el dinamómetro da T , se puede calcular R y consignar en tablas ó gráficamente sus valores al hacer variar cualquiera de los elementos esenciales.

Lo expuesto es suficiente para comprender la marcha que siguió Morin. Se consignarán ahora los principales resultados á que llegó:

1.º Tanto en los firmes de piedra partida como en los adoquinados, la resistencia es *proporcional á la presión é inversamente proporcional al radio de las ruedas*.

2.º Los desperfectos producidos por los vehiculos en las carreteras son mayores á medida que disminuye dicho radio.

De los dos principios anteriores se desprende que, tanto bajo el aspecto del tiro como de la conservación del camino, conviene que sea el diámetro de las ruedas lo más grande posible.

3.º En los adoquinados la resistencia es independiente de la anchura de las llantas; en los firmes de macadam y en general en todos los suelos compresibles, disminuye la resistencia con dicho ancho, en relación que depende de la naturaleza del suelo. Sin embargo, en las carreteras ordinarias es inútil emplear llantas de más de 0^m,10 á 0^m,12.

4.º La resistencia no depende de la velocidad, estén ó no suspendidas las cajas, cuando la tracción se verifica sobre terrenos blandos, como tierra, arena ó recargos de 0^m,14 á 0^m,16 de espesor.

5.º La resistencia es asimismo independiente de la suspensión, cuando los motores van al paso, sea cuál fuere el camino y aun cuando se trate de adoquinados en buen estado.

6.º En firmes de macadam ó de adoquines, crece la resistencia casi proporcionalmente á la velocidad, desde que ésta pasa de

un metro por segundo. El aumento se hace menos sensible á medida que disminuye la rigidez del carruaje, que su caja está mejor suspendida y que la carretera ofrece superficie más tersa. El incremento es poco perceptible para las diligencias de buenos muelles, en firmes de piedra partida muy bien conservados y sin guijarros sueltos, siempre que los aires de marcha oscilen entre el de paso y el de trote largo.

7.º En un buen adoquinado, terso y unido como el de Metz, la resistencia al paso no excede de los $\frac{2}{3}$, de la que oponen los mejores firmes de piedra machacada; y viene á ser la misma en ambas superficies si la velocidad es la del trote largo, siempre que los coches tengan buenas ballestas. Pero si el adoquinado no está muy terso ó si los prismas presentan juntas demasiado anchas, como ocurre en París, la resistencia al trote es menor en los firmes de macadam, aun para carruajes perfectamente suspendidos.

8.º Para que la inclinación del tiro corresponda al máximo efecto útil, debe crecer aquélla con la resistencia del suelo, y á medida que sea menor el diámetro de las ruedas del juego delantero, lo que induce á que la línea se aproxime á la dirección horizontal en cuanto lo consienta la construcción del vehículo.

Por mandato del Ministro de Obras públicas, dedicóse el General Morin á nuevos trabajos para precisar la influencia de las llantas; pero como quiera que á este asunto no se le da hoy la importancia que se le atribuía hace medio siglo, no se cree oportuno reseñarlos.

Como consecuencia de los experimentos, redactó el mismo autor cuadros de *coeficientes de tiro*, es decir, de relaciones entre el esfuerzo de tracción y la carga, en diferentes pavimentos, para armones de artillería, carros de transporte, carretas y vehículos suspendidos; cuadros que serían de grandísima utilidad si pudieran inspirar confianza. Por desgracia no es así, como en seguida se verá.

Ensayos de Dupuit.—CRÍTICA DE LOS TRABAJOS DE MORIN.—Los principios de Morin se admitieron como verdades inconcusas, hasta el punto de servir de base á la ley de tracción que rigió en Francia, y que regulaba las dimensiones de los carruajes, las cargas admisibles en carreteras y multitud de detalles que constituían trabas penosísimas para el tráfico. En España no

se llegó á tanto; pero por medios indirectos, los aranceles de portazgos, se quiso, aunque infructuosamente, llevar á la práctica buen número de los preceptos de la ley francesa: ya se hicieron indicaciones acerca de este particular en la Sección primera.

Muy poco tiempo después, en 1842 (1), el ilustre Dupuit combatió enérgicamente los resultados obtenidos por Morin, apoyándose en datos experimentales, en razonamientos teóricos y en observaciones vulgares sobre la tracción, llegando á consecuencias muy distintas.

Dupuit dirige las siguientes censuras á los trabajos de Morin: 1.^a Existen errores materiales en los cálculos que pueden seguirse con los guarismos estampados en los cuadros, lo que induce á creer que tampoco serán exactos los números de cuya determinación no ha quedado rastro. 2.^a Admitiendo los que figuran en los estados, no resultan las relaciones que se establecen entre resistencias, cargas y diámetros, llegando las discrepancias hasta el 28 por 100. 3.^a Los ensayos se hicieron con vehículos de cuatro ruedas, sin tener en cuenta la influencia en el tiro de la repartición de la carga, elemento de que no debe prescindirse, pues al marchar en línea recta, las ruedas traseras siguen los surcos de las de delante y el coeficiente de roce es menor para ellas. 4.^a Al coeficiente φ se le ha de hacer igual á 0,12, número próximamente doble que el adoptado por Morin. 5.^a El camino recorrido en cada vuelta por el punto de aplicación de la fuerza que mide el roce del muñón, no es la circunferencia de éste, sino la del buje, de bastante mayor desarrollo. 6.^a No puede aceptarse que para comprobar la razón inversa entre el tiro y los diámetros, se comparen experimentos en terrenos y trayectos muy diferentes, pues estas circunstancias bastan para invalidar todas las consecuencias. 7.^a Tampoco cabe sentar principios acerca de la tracción por recargos, que es esencialmente variable de un punto á otro, según el grado de compresión del macizo. 8.^a El sistema de variar el ancho de las llantas yuxtaponiendo cierto número de po-

(1) Dupuit, *Mémoire sur le tirage des voitures et sur le frottement de roulement*. (Anales de Puentes y Calzadas, 1842.)

leas, hay que rechazarlo en absoluto, porque se modifican á la vez la anchura y la presión, siendo imposible averiguar qué parte ha de atribuirse á cada elemento en las resistencias halladas. 9.^a Si las llantas tienen la influencia que supone Morin, cae por su base la proporcionalidad de resistencias y cargas, porque si la mayor anchura de la llanta disminuye el tiro, forzosamente ha de ser á causa de reducir la presión transmitida al suelo por unidad de superficie.

PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS POR DUPUIT.—Incontestable es la fuerza de la mayoría de estos argumentos. Dupuit repitió los ensayos, valiéndose en esencia de los mismos aparatos de Morin, pues si bien al principio usó vehículos ordinarios arrastrados por hombres y midió los esfuerzos interponiendo una romana, en vista de que se discutía la exactitud de tales medios, recurrió al dinamómetro de punzón, aunque colocándolo en la parte posterior de un carruaje especial, al cual se aplicaba el tiro, enganchando el vehículo objeto de ensayos, en el anillo del dinamómetro. Con esta disposición se realizan muchas ventajas: se efectúan los experimentos sin armar y desarmar el aparato, circunstancia esencial en los caminos en que las condiciones atmosféricas hacen variar el tiro lo bastante para que no sean comparables pruebas que no se realicen casi al mismo tiempo; permite tomar cuantas precauciones se juzguen oportunas para que la transmisión del movimiento de las ruedas al dinamómetro sea regular y continua, y simplifica el cálculo del tiro, porque en todos los ensayos se aplica el mismo coeficiente. El sistema admitido se parece mucho al usado por Clapeyron, aprovechando la idea de Poncelet, para medir la tracción en caminos de hierro.

RESULTADOS OBTENIDOS.—Estudió Dupuit la resistencia de los cilindros á la rodadura, colocando rodillos ó pares de ruedas en la parte superior de un plano inclinado, de altura h , y dejándolos caer por su propio peso. El plano inclinado y el terreno horizontal se enlazaban por una superficie curva tangente á ambos, y el peso móvil P , después de llegar al pie del talud, seguía moviéndose, con velocidad cada vez más pequeña, hasta que las resistencias, R , le obligaban á pararse á distancia L del punto de partida. Admitiendo, como parece probado, que la resistencia sea propor-

cional á la carga, establecía Dupuit la igualdad entre el trabajo motor y el resistente, ó sea:

$$Ph = RPL, \text{ de donde se deduce: } R = \frac{h}{L}.$$

En todos los experimentos resultó que hallando el producto $R\sqrt{D}$, es decir, multiplicando el valor de R , sacado de la fórmula anterior, por la raíz cuadrada del diámetro, se obtenía un número constante. Según Dupuit, la resistencia varía, pues, *en razón inversa de la raíz cuadrada de los diámetros*, y no de los mismos diámetros, como suponían Coulomb y Morin.

En apoyo de su conclusión, expuso Dupuit una nueva teoría matemática del rozamiento de rodadura, cuya discusión sale fuera de los límites de esta obra. Resumiendo los resultados experimentales, puede consignarse, á juicio de aquel Ingeniero:

1.º Que en los *firres de piedra partida* y en general, en las superficies tersas y homogéneas, el esfuerzo de tiro es *proporcional á la presión, inversamente proporcional á la raíz cuadrada del diámetro de las ruedas, é independiente de la anchura de las llantas, de la velocidad y de la suspensión*. La tracción T , ó sea la fuerza horizontal necesaria para que ruede en terreno llano un vehículo de peso P y con ruedas de diámetro D , está dada por la fórmula:

$$T = \rho \frac{P}{\sqrt{D}},$$

en la que ρ es constante para cada superficie y expresa la relación que enlaza á la compresibilidad y elasticidad de aquélla: se determina por la relación:

$$\rho = \frac{3}{8} \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon'}},$$

siendo ε' la depresión instantánea que se produce bajo la influencia de una carga, y ε la impresión que queda después de pasar el carruaje.

2.º Que en los *adoquinados* se modifican las leyes anteriores en lo relativo á fenómenos accesorios: el tiro varía siempre *en razón directa de la presión é inversa de la raíz cuadrada del diámetro*;

pero *aumenta con la velocidad*, á causa de los choques continuos que se producen; *disminuye á medida que la suspensión es más perfecta*, sobre todo si las velocidades son grandes; y, por último, dentro de ciertos límites, *se reduce cuando se ensanchan las llantas*.

Comparación de los principios de Morin y de Dupuit.—La lectura de lo que antecede pone de manifiesto las diferencias radicales que existen entre muchas de las bases sentadas por aquellas dos personalidades de tan sólida reputación científica. En el estado actual de los conocimientos, no es posible resolver de plano la cuestión: algunas observaciones demostrarán, sin embargo, que quizá no sean exactos en absoluto los principios de Dupuit, pero que sin duda se acercan mucho más á la verdad que los de Morin. No hay que decir nada respecto á la presión, cuya influencia ambos la aprecian de igual modo; mas se expondrán las razones que inducen á inclinarse al parecer de Dupuit, en lo relativo á llantas y diámetros, prescindiendo de los demás elementos que ofrecen menos interés para el arrastre de vehículos pesados.

INFLUENCIA DE LAS LLANTAS.—Si la anchura de las llantas disminuyera la tracción por carreteras en la fuerte proporción que suponía Morin, el hecho no hubiera pasado inadvertido tanto tiempo, y nunca se habría necesitado acudir á sanciones penales para establecer la disposición más ventajosa. Por el contrario, la tendencia de la industria ha sido siempre aumentar las cargas y disminuir las llantas, porque por experiencia secular é independientemente de lucubraciones técnicas, se sabe que el tiro varía en razón directa de la carga y que no lo altera el ancho de las llantas, de suerte que hay interés en reducir éste cuanto sea factible, para aumentar el peso útil transportado. Es hecho comprobado en todas las industrias antiguas que al cabo de numerosos tanteos se acaba por descubrir los procedimientos más útiles y económicos en la práctica, limitándose la misión de la ciencia á inquirir los fenómenos que los justifican.

Aun cuando es ya general no preocuparse con la tan discutida influencia de las llantas, no huelga transcribir el párrafo siguiente de la Memoria de Dupuit:

«Haciendo caso omiso de las llantas tan estrechas que cortasen el firme, y á las cuales no pueden aplicarse las leyes del tiro, como no se aplican las

del rozamiento á los cuerpos que deslizan sobre aristas agudas, es preciso dejar en libertad á la industria para resolver el problema del ancho, consultando sólo la estabilidad del carruaje y la solidez y duración de las ruedas. En cuanto á su influencia en la carretera, no hay que olvidar que una llanta de 0^m,17 obra al cabo de pocos días como si fuera de 0^m,14, y transcurridos algunos meses, como si sólo midiese 0^m,11.»

INFLUENCIA DEL DIÁMETRO DE LAS RUEDAS.—Á este importantísimo elemento se atribuyen papeles muy distintos por los dos experimentadores. Ante todo, conviene consignar que Coriolis, en la Memoria que publicó en 1832 (1), llega al resultado de que la tracción varía en razón inversa de la potencia $\frac{2}{3}$ del diámetro, lo que se aproxima mucho más al principio de Dupuit que al de Morin.

Pero basta una consideración muy sencilla para convencerse de la inexactitud de la ley propuesta por el último. Los camiones que se emplean para el transporte de bultos desde las estaciones á los domicilios de los destinatarios, son de ruedas muy pequeñas, á veces de 0^m,40 á 0^m,50 de diámetro, por manera que de ser cierto el resultado á que, de acuerdo con Coulomb, llegó Morin, exigirían tracción cuádruple que los carros ordinarios, construídos con ruedas de 1^m,60 á 2 metros. En éstos, la carga corriente sancionada por la práctica, en vías de rasantes poco inclinadas, es de 1.000 kilogramos por caballería, de suerte que un motor enganchado á un camión sólo arrastraría de 250 á 300 kilogramos, peso inferior muchas veces al del vehículo vacío. Tal consecuencia demuestra la falsedad de la base del razonamiento.

Coefficientes de tiro.—Los determinados por Morin son excesivamente bajos: en superficie no muy tersa y con armones de ruedas de 1^m,56 de diámetro, lo fijó en $\frac{1}{12}$, ó sea en un esfuerzo de 14 kilogramos para el arrastre de una tonelada. Hace observar Dupuit: 1.º, que ningún experimentador ha hallado nunca coeficiente inferior á $\frac{1}{50}$, y que él mismo jamás obtuvo esfuerzo que bajase de 22 kilogramos en toda la serie de ensayos á que se dedicó; 2.º, que para probar la inexactitud del guarismo de Morin,

(1) Coriolis, *Des circonstances qui influent sur le tirage des chevaux et sur la conservation des routes dans le mouvement des voitures.* (Anales de Puentes y Calzadas, 1832.)

no hay más que colocar un armón con ruedas de 1^m,56 en una pendiente de 0,014, y se verá que, vencida la fuerza de inercia, el vehículo no desciende por su propio peso, ni se logra que lo verifique hasta que la inclinación es de 0,02 ó $\frac{1}{50}$.

Por lo demás, si fuese cierta la ley de Morin, se podrían alcanzar resultados tan curiosos como los siguientes:

1.º Como un caballo desarrolla sin dificultad un esfuerzo de 30 á 45 kilogramos, se deduce que la práctica de enganchar un motor por tonelada es viciosa, y que no habría inconveniente en reducir el tiro á la mitad y aun á la tercera parte, porque la tracción de 14 kilogramos, con ruedas de 1^m,56, baja hasta 10 kilogramos, según la ley de Morin, aumentando el diámetro á 2 metros. Se parte siempre de la hipótesis de que el terreno sea horizontal ó con cortísima inclinación.

2.º Puesto que en firmes de macádam la tracción sería sólo de 10 kilogramos por tonelada y en los ferrocarriles de 5, se desprende que estos últimos apenas producen 50 por 100 de economía en los gastos de transporte, y no los $\frac{5}{6}$ como siempre se había creído. Pero hay más: el esfuerzo de tiro llegaría casi á equipararse en los caminos de hierro y en los ordinarios; sería suficiente construir éstos con adoquines análogos á los de Metz, que exigen tracción de $\frac{1}{8}$, ú 11 kilogramos por tonelada para ruedas de 1^m,56, y disponer los vehículos de manera que aquéllas alcanzasen 3 metros de diámetro.

Demostrada la inexactitud de los números consignados por Morin, resta ver cuáles deberán adoptarse en la actualidad. Los experimentos hechos son tan numerosos como contradictorios, explicándose, sin embargo, muchas anomalías aparentes, por los perfeccionamientos que vehículos y firmes han ido recibiendo, y que justifican que, por lo común, disminuyan los tiros observados á medida que se refieren á época más moderna.

Hoy pasan como corrientes los guarismos que se consignan en este cuadro, relativos á carreteras afirmadas con piedra partida y á adoquinados:

DESIGNACIÓN DE VEHÍCULOS.	COEFICIENTES.	
	Macadam.	Adoquinados.
Carros de transporte .	0,030	0,017
Diligencias.....	0,030	0,020
Coches ligeros.....	0,036	0,034 á 0,037

Los números anteriores concuerdan con los hechos admitidos por todos, de que los adoquinados son mucho más favorables que los firmes ordinarios para el transporte de cargas pesadas; ventajosos también, aunque no en tan gran escala, para las diligencias, é indiferentes, desde el punto de vista del tiro, para los coches ligeros.

Como, en general, por un camino transitan vehículos de toda especie, se acostumbra tomar en las aplicaciones términos medios para el coeficiente de tracción f , y se hace

$f = 0,03$, en firmes de macadam,

$f = 0,02$, en adoquinados,

guarismos que se ajustan á los ensayos de Dupuit, y que equivalen á admitir que el tiro en terreno llano es de 30 ó 20 kilogramos por tonelada, respectivamente, en firmes de piedra partida ó en adoquinados.

De algunos experimentos, aunque pocos, parece resultar que el tiro es sólo de 6 kilogramos en enlosados bien contruidos, muy poco más que en los caminos de hierro. Respecto de firmes asfálticos y de tarugos, se carece de observaciones: Debaue cree que para los primeros pudiera adoptarse provisionalmente $f = 0,01$; pero no hay que olvidar (pág. 139) que la tracción es muy variable según la dureza de la pasta.

Ciñendo las comparaciones á los ferrocarriles, adoquinados y firmes de piedra machacada, resulta que las tracciones respectivas son proporcionales á los números 5, 20 y 30, ó para mayor sencillez, 1, 4 y 6. Las ventajas que reportan las diversas superficies

están, por consiguiente, lejos de guardar entre sí relaciones análogas á las de las durezas respectivas, que se miden aproximadamente por los números 36, 15 y 1. Compréndese que así ocurra, porque, conforme hace notar Dupuit, en ferrocarriles y carreteras hay que considerar la resistencia debida al roce de los muñones, y como en los vagones las ruedas son mucho más pequeñas que en los carros y mayor la sección del eje, aquel elemento puede valuar-se en los $\frac{2}{3}$ de la resistencia total en las vías férreas, mientras se reduce á $\frac{1}{3}$ en las ordinarias. De esta circunstancia se desprende que la repartición de carga que permita adelgazar los ejes y las modificaciones en los vehículos encaminadas á aumentar el diámetro de las ruedas, ofrecen mucho mayor interés en los caminos de hierro que en las carreteras.

II.—INFLUENCIA DE LAS PENDIENTES EN LA TRACCIÓN.

TIRO, FATIGA Y CARGAS.

Tiro.—Acaba de verse que el tiro ó esfuerzo de tracción en terreno horizontal puede representarse por fP , siendo f el coeficiente de rodadura y P la carga total arrastrada; pero si la rasoante forma el ángulo α con el horizonte, la fuerza P se descompone en una normal á aquella línea, cuya magnitud será $P \cos \alpha$, que reduce á $fP \cos \alpha$ el roce de rodadura; y otra igual á $P \sin \alpha$, que constituirá resistencia ó fuerza motriz, según que el movimiento sea ascendente ó descendente. De todo ello resulta que la tracción que habrá de desarrollar el motor para subir ó bajar la carga, será $fP \cos \alpha \pm P \sin \alpha$; mas á este binomio hay que agregar la componente paralela al movimiento, que produce el peso p del motor, ó sea $\pm p \sin \alpha$, componente que se suma á la análoga producida por el vehículo, y que obra en el mismo sentido que ésta. En resumen, la tracción, T , se expresa por la fórmula siguiente:

$$T = fP \cos \alpha \pm (P + p) \sin \alpha.$$

Como quiera que el ángulo α es, en general, muy pequeño, pues

no suele pasar de 3° y rara vez llega á 6 , no hay inconveniente en hacer $\cos \alpha = 1$ y $\sin \alpha = \text{tang } \alpha = h$, ó sea á la inclinación, por unidad, de la rasante: estas substituciones son tanto más admisibles, cuanto que el error que producen es mucho menor que el que se comete al fijar el valor del coeficiente f . La fórmula anterior puede, pues, escribirse así:

$$T = fP \pm (P + p) h \quad \text{ó} \quad T = (f \pm h) P \pm ph \quad (1).$$

Tampoco hay dificultad en suprimir el signo \pm , siempre que se convenga en considerar á h como positiva en las subidas y negativa en las bajadas. En el caso ordinario de estudiar la tracción en firmes de piedra partida, $f = 0,03$, y la expresión de T será:

$$T = (0,03 + h) P + ph \quad (2).$$

El esfuerzo de tiro en las bajadas, ó sea $fP - (P + p) h$, es positivo mientras $h < f \frac{P}{P+p}$; se anula para un valor particular de h , que se llamará i , dado por la relación:

$$i = f \frac{P}{P+p} \quad (3);$$

y es negativo cuando $h > i$. La interpretación de este resultado algebraico es que en el momento que la pendiente rebasa el valor de i , los motores tienen que ejercer esfuerzo de contención para contrarrestar la acción de la gravedad, esfuerzo tan penoso ó más que el de tiro, y que no pueden resistir sino dentro de ciertos límites. Si la pendiente es demasiado inclinada, la caballería y el vehículo son arrastrados por una fuerza constante, que es la diferencia entre el valor absoluto de T y el esfuerzo de contención; la velocidad se acelera y son muy de temer los accidentes en bajadas largas, los cuales se previenen con los frenos que ordinariamente llevan los carruajes (págs. 25 y 26).

También hay que hacer alguna advertencia respecto del esfuerzo de tracción en las subidas. La expresión $T = fP + (P + p) h$, no es aplicable más que para determinados valores de h , porque á medida que ésta crece, P disminuye y llega á ser nula, y desde ese momento cae por su base la fórmula.

Si se considera una rasante de longitud l , el trabajo mecánico del esfuerzo de tiro será:

$$Tl = fPl + (P + p) hl.$$

Llamando $l', l'',$ etc., las longitudes de las demás rasantes, y $h', h'',$ etc., las inclinaciones tomadas con los signos que correspondan, se tendrá:

$$\Sigma Tl = fP(l + l' + l'' + \dots) + (P + p)(hl + h'l' + h''l'' + \dots).$$

Parece á primera vista, y así lo establecen algunos autores, que, siendo $l + l' + l'' + \dots$ la longitud total, L , y $hl + h'l' + h''l'' + \dots$ el desnivel, H , entre el punto de partida y el de llegada, pudiera escribirse:

$$\Sigma Tl = fPL + (P + p)H \quad (4),$$

deduciéndose la peregrina consecuencia de que el trabajo motor sólo es función de la longitud y del desnivel de los puntos extremos, sin que influya el perfil longitudinal. Tal resultado, absurdo para mecanismos, lo es mucho más tratándose de motores animados, cuyos esfuerzos están siempre comprendidos entre límites muy próximos. La suma de términos no puede hacerse en esta forma, por dos razones: 1.^a, porque P , lejos de ser constante, depende de h y l ; 2.^a, porque los trabajos negativos correspondientes á bajadas en que $h > i$, no son en realidad trabajos motores, puesto que el tiro ha de contener al vehículo, desarrollando un esfuerzo que, como se ha dicho, es quizá más fatigoso que el de tracción. Existe siempre una distribución de rampas y pendientes que ocasiona la fatiga mínima al motor: el problema es muy interesante, y si bien no se ha resuelto aún en toda su generalidad, son tan notables los trabajos del Sr. Durand-Claye, que conviene darlos á conocer.

Fatiga.—Recordando que se llama *fatiga* (pág. 33) el trabajo necesario para vencer los de las resistencias orgánicas y la tracción, y representando por Kp , como se hizo en la Sección prime-

ra, el esfuerzo muscular de la caballería, indispensable para la progresión, escribe aquel Ingeniero:

$$\varphi = K_f l + [fPl + (P + p) hl],$$

denominando φ la fatiga en una rasante de longitud l é inclinación h .

En la longitud total, L , la fatiga, F , será:

$$F = K_f L + \Sigma [fPl + (P + p) hl],$$

en la cual, con arreglo á la segunda observación hecha en el párrafo anterior, todos los términos encerrados dentro del signo Σ deben tomarse en valor absoluto, aunque fueren negativos.

Si las pendientes son menores que i (3), los sumandos son todos positivos y la suma indicada será rigurosamente igual á la expresión (4). Pero el sistema no es aplicable en cuanto hay trabajos negativos, esto es, pendientes mayores que i : para tales rasantes supone Durand-Claye que se aprieten los frenos en las bajadas lo estrictamente necesario para anular la tracción, ó lo que es lo mismo, para hacer (poniendo explícito el signo de h):

$$fP - (P + p)h = 0,$$

lo que evidentemente equivale á tomar $h = i$.

El punto vulnerable de la teoría no podía ocultarse á la perspicacia del autor. En la práctica es imposible hacer funcionar los frenos con precisión matemática: ó se apretarán demasiado, exigiendo una tracción excesiva, ó quedarán flojos y será indispensable retener al vehículo. Admitiendo, sin embargo, la hipótesis, es claro que si el perfil longitudinal del camino se reemplaza con otro en que se substituyan con pendientes de inclinación i las bajadas que excedan de ese límite, conservando invariables los demás elementos, y si se llama Δ el desnivel ficticio entre los puntos extremos, se obtendrá:

$$F = K_f L + fPL + (P + p)\Delta = (K_f + fP)L + (P + p)\Delta.$$

Dividiendo los términos de la ecuación precedente por P , se conocerá la fatiga, Q , por unidad de peso bruto transportado de

un extremo á otro del camino, que será, llamando C á la relación $\frac{P}{p}$, ó sea á la carga específica arrastrada por cada unidad de peso del tiro:

$$Q = \frac{F}{P} = \left(\frac{K}{C} + f\right)L + \left(1 + \frac{1}{C}\right)\Delta \quad (5).$$

Límite de cargas.—La carga específica, C , depende, según se ha indicado, de la inclinación y longitud de las rampas. Con efecto: 1.º, el arrastre por una rampa de inclinación, h , exige el tiro $fP + (P + p)h$; y como esta cantidad no ha de pasar del mayor esfuerzo, Mp , que se pueda imponer á la caballería, se deduce que, por lo menos,

$$Mp = fP + (P + p)h, \text{ de donde}$$

$$C = \frac{P}{p} = \frac{M - h}{f + h} \quad (6).$$

2.º El esfuerzo, Mp , no es constante; puede oscilar entre límites algo separados, y llegar á un máximo tanto más grande cuanto menor sea la longitud ó tiempo en que se ha de desarrollar (pág. 33).

M , por consiguiente, es función de l (longitud de la rasante), aunque no se conoce la relación que liga á ambas variables, y C , en virtud de la última fórmula, depende explícitamente de h é implícitamente de l .

No hay bastantes ensayos para averiguar el enlace entre M y l : Durand-Claye ha manejado los pocos datos experimentales que se poseen para llegar á una relación empírica. De los trabajos de Devillers resulta que un caballo de 400 kilogramos de peso llega á desarrollar esfuerzo de 130, en rampas muy cortas; se tiene entonces que $400 M = 130$ y $M = \frac{1}{3}$, que será el máximo de M , aplicable sólo á longitudes muy pequeñas: Durand-Claye admite que para $l = 0$, $M = \frac{1}{3}$. En rampas largas, de 11 kilómetros, por ejemplo, el esfuerzo no debe pasar del normal en terreno llano, ó sea $\frac{p}{6}$, según los experimentos de Navier (pág. 33): de suerte que otro punto de la curva, representación gráfica de la expresión

que se busca, estará dado por las coordenadas $l = 11$, $M = \frac{1}{6}$.

Durand-Claye halla la ecuación de una parábola de eje paralelo al de las l , vértice situado á la distancia $\frac{1}{3}$ del origen y que pase por el punto antes indicado. La ecuación de la curva es:

$$\left(M - \frac{1}{3}\right)^2 = 0,0025 l,$$

ó considerando simplemente la rama inferior:

$$M = \frac{1 - \sqrt{0,023 l}}{3} \quad (7).$$

Esta expresión, no sólo satisface á las dos condiciones impuestas, sino á la de que para $l = 4,5$, $M\dot{p} = 90$ ó $M = 0,225$, resultado obtenido asimismo por Devillers.

Con la fórmula que precede se forma la siguiente tabla, que aunque no está comprobada por numerosos ensayos, puede admitirse en el estado actual de la cuestión:

l Kilóm. ²	M	l	M	l	M	l	M	l	M	l	M
0,0	0,333	2,0	0,261	4,0	0,232	6,0	0,210	8,0	0,190	10,0	0,173
0,1	0,317	2,1	0,260	4,1	0,231	6,1	0,209	8,1	0,189	10,1	0,172
0,2	0,311	2,2	0,258	4,2	0,230	6,2	0,208	8,2	0,188	10,2	0,171
0,3	0,306	2,3	0,257	4,3	0,229	6,3	0,207	8,3	0,188	10,3	0,170
0,4	0,301	2,4	0,255	4,4	0,227	6,4	0,206	8,4	0,187	10,4	0,170
0,5	0,297	2,5	0,253	4,5	0,226	6,5	0,205	8,5	0,186	10,5	0,169
0,6	0,293	2,6	0,252	4,6	0,225	6,6	0,204	8,6	0,185	10,6	0,168
0,7	0,291	2,7	0,250	4,7	0,224	6,7	0,203	8,7	0,184	10,7	0,167
0,8	0,288	2,8	0,249	4,8	0,223	6,8	0,202	8,8	0,183	10,8	0,167
0,9	0,286	2,9	0,247	4,9	0,222	6,9	0,201	8,9	0,183		
1,0	0,283	3,0	0,246	5,0	0,220	7,0	0,200	9,0	0,182		
1,1	0,280	3,1	0,244	5,1	0,219	7,1	0,199	9,1	0,181		
1,2	0,278	3,2	0,243	5,2	0,218	7,2	0,198	9,2	0,180		
1,3	0,276	3,3	0,242	5,3	0,217	7,3	0,197	9,3	0,179		
1,4	0,273	3,4	0,240	5,4	0,216	7,4	0,196	9,4	0,178		
1,5	0,271	3,5	0,239	5,5	0,215	7,5	0,195	9,5	0,177		
1,6	0,269	3,6	0,237	5,6	0,214	7,6	0,194	9,6	0,176		
1,7	0,267	3,7	0,236	5,7	0,213	7,7	0,193	9,7	0,176		
1,8	0,266	3,8	0,235	5,8	0,212	7,8	0,192	9,8	0,175		
1,9	0,264	3,9	0,234	5,9	0,211	7,9	0,191	9,9	0,174		

NOTA. Para todos los valores de l , superiores á 10,8, se hará $M = 0,167$.

Si se trata de calcular con estos datos la carga máxima que admitirá una caballería al recorrer un camino, cuyo perfil longitudinal se conozca, no hay más que ver los valores de M , que da la tabla anterior para la longitud de cada rampa ó sucesión de rampas no interrumpidas; substituir los guarismos hallados, á la vez que las inclinaciones correspondientes, en la fórmula (6) (página 297), y tomar para C el número menor de los que resulten. La carga máxima arrastrada por el motor será $P = Cp$.

En el caso de que en alguna pequeña parte del trayecto la inclinación de rasantes fuese tan considerable que obligase á reducir mucho las cargas, puede apelarse á reforzar los tiros para la subida de cuestas excepcionales, procedimiento usado en vías muy frecuentadas, en que cabe establecer el servicio con regularidad: en caminos de poco tránsito, las dificultades con que se tropieza suelen ser grandes. De todos modos, los refuerzos ofrecen los inconvenientes de que casi siempre pecan por exceso ó por defecto, y de que gravan á la tracción con sobreprecio de alguna entidad.

REDUCCIÓN DE PERFILES LONGITUDINALES Á TRAMOS Á NIVEL.

La reducción de una traza cualquiera á otra horizontal que exija la misma fatiga por parte de los motores, sería de gran utilidad para comparar, bajo el aspecto de la tracción, las diferentes soluciones admisibles en los estudios de carreteras. El problema no está resuelto, á lo menos con la exactitud que fuera de desear; pero conviene, sin embargo, reseñar brevemente las tentativas hechas por tres Ingenieros de Puentes y Calzadas: Favier, en 1841; Durand-Claye, treinta años más tarde, y Lechalas, en 1879.

Método de Favier (1).—Apenas se usa en la actualidad, y no se harán acerca de él sino ligeras indicaciones.

Si se representa por P el peso arrastrado en terreno horizontal, por un tiro á la velocidad v , en t horas al día, y se suponen determinadas dichas cantidades de suerte que correspondan al máximo de rendimiento, el trabajo útil desarrollado será Pvt ; en

(1) Favier, *Essais sur les lois du mouvement de traction*: París, 1841.

una rasante inclinada, los elementos varían y darán lugar á otro trabajo $P'v't'$: llamando R á la relación entre ambos,

$$R = \frac{Pvt}{P'v't'}$$

Si se llama G al gasto total diario de tracción, y g y g' respectivamente á los costes de conducción de la unidad de peso á la de distancia, en horizontal ó en tramo inclinado,

$$G = Pvg = P'v't'g', \text{ de donde } \frac{g'}{g} = \frac{Pvt}{P'v't'} = R.$$

Este coeficiente es el que trató de deducir Favier. Según él, en cualquier caso el máximo efecto útil corresponde á la mitad del tiempo, durante el cual puede caminar el motor, y que fija en 18 horas, siendo, por tanto, $t = t' = 9$ horas. El valor de R se reduce, por consiguiente, á $\frac{Pv}{P'v'}$.

Rechaza el autor la hipótesis de igualdad de las velocidades, porque equivaldría á tener que modificar á cada instante la carga ó el esfuerzo de tracción: admite, pues, que cambien las velocidades; pero considerando que, por lo común, la carga del vehículo es constante, hace $P \doteq P'$, y queda $\frac{g'}{g} = R = \frac{v}{v'}$. Redúcese el problema á determinar la relación de las velocidades más á propósito en tramos horizontales ó inclinados para utilizar hasta el máximo la fuerza de tiro, admitiendo la invariabilidad de cargas y horas de trabajo.

Favier intentó hallar la relación analítica entre esfuerzos y velocidades: los primeros los expresaba fácilmente en función de la pendiente y de la resistencia á la rodadura (fórmulas (1) y (2), pág. 294); para las segundas, ideó una teoría elegante, pero basada en hipótesis muy discutibles. No hay para qué entrar en desarrollos, bastando consignar que, en virtud de todos ellos, formó dos tablas de valores de R , la primera para rampas y la otra para pendientes. Establece que cuando éstas pasen de 0,03, se enfrenen los vehículos, pero nada más que lo necesario para reducir la tracción á la que exige una pendiente de aquella inclinación; des-

de este límite, no supone constante á R , sino que la aumenta con mucha lentitud, á causa de la mayor incomodidad que experimentan los motores.

La reducción de una traza á la horizontal equivalente es sencilla. Como $g' = Rg$, el coeficiente R representa en cada rasante la distancia horizontal que ocasionaría para el transporte de la unidad de peso el mismo gasto que la unidad de longitud en la rasante: por tanto, si l es el desarrollo de ésta, $lg' = Rlg$ será el gasto que exigirá la conducción de la unidad de carga en el tramo que se considera, y podrá suponerse constante el precio unitario g , aplicándolo á la longitud l . En resumen, Rl es la *distancia horizontal equivalente* que se busca. Haciendo operación análoga para todas las rasantes y sumando los resultados obtenidos, queda hecha la reducción completa.

El método de Favier ha caído en desuso por los muchos defectos de que adolece. Se citarán los siguientes:

1.º Las fórmulas á que llega son hipotéticas y dan lugar á consecuencias inaceptables, como la de que el recorrer una rampa de 0,02 de inclinación reclame gasto próximamente doble que igual trayecto horizontal.

2.º Prescinde en todos sus cálculos de un elemento tan importante como la longitud de las rampas.

3.º Supone una precisión inadmisibile en los frenos, inconveniente de que participa también el sistema descrito en las páginas 295 á 297 para hallar la fatiga.

Método de Durand-Claye.—Poquísimas palabras se requieren para explicarlo, conociendo ya, por el artículo precedente, los procedimientos propuestos por este Ingeniero para la determinación de fatigas y cargas. Deducida la carga específica máxima, según se reseñó (pág. 299), se calcula la pendiente i por la fórmula (3), página 294:

$$i = f \frac{P}{P + p} = f \frac{C}{1 + C}$$

Modifícase en seguida el perfil en la forma descrita en la página 296, y se conocerá el desnivel ficticio Δ .

La fatiga Q por unidad de peso bruto transportado de un ex-

tremo á otro del camino, está dada por la fórmula (5), página 297:

$$Q = \left(\frac{K}{C} + f \right) L + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \Delta,$$

en la que C y Δ se han deducido, según acaba de indicarse; L es la longitud total; $f = 0,03$ en firmes de piedra partida; y K , coeficiente que varía con la naturaleza del motor y la velocidad á que marcha, puede hacerse igual á $\frac{1}{2}$, para el caballo que camina al paso, si bien con todas las salvedades que se hicieron en la página 34.

Determinada de este modo la fatiga, el problema se reduce á hallar la longitud horizontal Δ que produciría la misma. Llamando C_0 la carga específica correspondiente, es claro que deberá tenerse

$$Q = \left(\frac{K}{C_0} + f \right) \Delta, \quad \text{ó} \quad \Delta = Q \frac{1}{\frac{K}{C_0} + f}.$$

En un tramo horizontal continuo se admite que el esfuerzo de tiro fP es igual á $\frac{P}{6}$ (pág. 297), luego:

$$C_0 = \frac{P}{f} = \frac{1}{6f} = \frac{1}{0,18}.$$

Substituyendo este valor en la fórmula precedente, y haciendo $K = \frac{1}{2}$, $f = 0,03$, se llega al resultado:

$$\Delta = 18 Q.$$

La longitud horizontal será, pues, el producto de la fatiga por 18.

El método de Durand-Claye es ingeniosísimo; pero, aparte de la hipótesis irrealizable sobre el modo de funcionar los frenos (pág. 296), obliga á aplicar valores numéricos de K y de las cargas específicas, basados en ensayos incompletos y heterogéneos, como repetidamente se ha indicado, y que no pueden admitirse sin toda clase de reservas.

Método de Lechalas (1).—PRINCIPIOS EN QUE SE FUNDA.

(1) La exposición de este método se toma de la obra de Durand-Claye.

—El Sr. Lechalas empieza por determinar la carga más adecuada para el perfil que se examina, esto es, la correspondiente al máximo efecto útil; calcula en seguida el esfuerzo que en cada punto tiene que ejercer el tiro; deduce la velocidad conveniente para que sea constante la fatiga, y con estos datos halla el tiempo invertido en recorrer el trayecto. Supone el gasto proporcional á la duración del trabajo, y, por tanto, que el coste de transporte de la unidad de carga útil se obtiene dividiendo por ésta el gasto total.

Parte el autor del principio de que dicho gasto varía en razón directa del peso de las caballerías; y para hacer comparables los resultados, refiérellos á una fracción de tiro representada por un número constante, que fija en 100 kilogramos y llama *quintal vivo*. Para unidad de cargas útiles adopta la tonelada métrica.

Como se consideran proporcionales el gasto y el tiempo, se limita á valuar la duración del transporte, llegando á un guarismo que denomina *tiempo de quintal vivo por tonelada útil transportada*, que no es otra cosa sino el cociente de dividir el tiempo invertido en el trayecto por la fracción de tonelada de carga útil arrastrada por cada 100 kilogramos de motor.

El método se funda en la investigación de un máximo, y requiere tanteos bastante largos. Los esfuerzos se calculan por la fórmula (1), página 294, pero expresándolos en kilogramos por quintal vivo; de suerte que llamando r á la inclinación de una rampa, se convierte aquélla en

$$T = (f + r) P + 100 r,$$

y se considera $T = 0$ cuando el segundo miembro se anula ó es negativo, es decir, si

$$-r > \frac{fP}{100 + P}.$$

El esfuerzo de tracción, T , y la velocidad, v , han de estar ligados por cierta relación, $v = \varphi(T)$, con la cual se logre que la fatiga permanezca constante.

En rampas de longitudes $l, l', \text{ etc.}$; á las velocidades $v, v', \text{ etc.}$,

por segundo, se invertirán tiempos iguales, respectivamente, á $\frac{l}{v}$, $\frac{l}{v'}$, etc., y la duración total del recorrido, Θ , será

$$\Theta = \Sigma \frac{l}{v}.$$

Representando por U la carga útil en toneladas, referida siempre al peso de 100 kilogramos de tiro, el tiempo de quintal vivo por tonelada útil vendrá dado, con arreglo á la definición, por $\frac{\Theta}{U}$. La carga útil U y el peso bruto P , expresado en kilogramos, supone Lechallas que están enlazados por la ecuación:

$$U = \frac{P - 30}{1.300}.$$

En cuanto á los valores de v correspondientes á los de T , se deducen gráficamente de la curva XY (fig. 73.^a), construída por puntos, con sujeción, hasta donde ha sido posible, á datos experimentales. Para $T = 0$, $v = 1^m,94$, que corresponde á una longitud de 70 kilómetros en diez horas de trabajo (pág. 34); para $T = 50$, esfuerzo igual á la mitad del peso del motor, $v = 0$; otros puntos se han deducido de ensayos diversos, pero sobre todo de los de Gasparin (pág. 32). Claro es que, con el auxilio de la curva, cabe formar la tabla siguiente para evitar la medición gráfica de ordenadas, y en la cual se harán las interpolaciones que se necesiten:

T Kilogramos.	v Metros por 1 ^h .	T Kilogramos.	v Metros por 1 ^h .	T Kilogramos.	v Metros por 1 ^h .
0	1,04	11	1,27	21	0,76
1	1,88	12	1,215	22	0,72
2	1,82	13	1,16	23	0,68
3	1,76	14	1,11	24	0,65
4	1,70	15	1,05	25	0,62
5	1,64	16	0,985	26	0,59
6	1,58	17	0,93	27	0,56
7	1,52	18	0,885	28	0,53
8	1,45	19	0,84	29	0,50
9	1,39	20	0,80	30	0,47
10	1,33				

Calculando los productos Tv , ó sean los trabajos mecánicos por segundo, puede trazarse otra curva OMX (fig. 73.^a), cuyas ordenadas son nulas para los valores ($T=0, v=1,94$), ($T=50, v=0$), y que presenta un máximo de 16 kilográmetros, correspondiente á $T=20, v=0,80$, todo lo cual está de acuerdo con el principio fundamental de que existen valores particulares de T y v que hacen máximo el producto, y que el trabajo útil disminuye con rapidez, hasta reducirse á cero, ya se aumente el esfuerzo de tiro ó la velocidad (págs. 31 y 32).

APLICACIÓN DEL MÉTODO.—Se escoge arbitrariamente el valor M del máximo esfuerzo (referido siempre al quintal vivo), que se supone ejercido en la rampa de mayor inclinación, R , del perfil. Se tendrá:

$$M = (f + R) P + 100 R, \text{ de donde } P = \frac{M - 100 R}{f + R}.$$

Este valor de P sirve para determinar el de T , en cada rasante; la curva ó las tablas dan las velocidades respectivas; determinánse los cocientes $\frac{l}{v}$, y se halla la suma Θ . Se calcula U , substituyendo el valor encontrado para P , en la fórmula que da aquélla en función de ésta, y se divide Θ por U .

Procediendo del mismo modo, se deducen distintos valores de $\frac{\Theta}{U}$, haciendo diferentes hipótesis respecto de M , hasta que se obtenga el mínimo del quebrado.

Los tanteos se simplifican, considerando: 1.º, que no es necesario ensayar valores de M inferiores á 20, porque á éste corresponde el máximo trabajo útil en todas las rasantes; 2.º, que tampoco hay que probar valores superiores á 30, que parece ser el mayor esfuerzo con que se puede contar (1); 3.º, que es inútil hacer M igual á números fraccionarios.

(1) Nótese que hay bastante analogía entre los dos límites prácticos de M (20 y 30) y los que se indicaron (pág. 297) para los esfuerzos normal y máximo del motor ($\frac{1}{6}$ y $\frac{1}{2}$ de su peso).

De lo expuesto se deduce que á lo sumo se necesitarán once tanteos; pero es raro que no basten tres ó cuatro.

LONGITUD HORIZONTAL EQUIVALENTE.—No habrá más que determinar la longitud horizontal Λ , para la cual el transporte de una tonelada útil requiere el mismo tiempo de quintal vivo. En tramos á nivel se admite para M el guarismo que corresponde al máximo trabajo útil, es decir, 20, siendo la velocidad respectiva de 0^m,80: llamando, pues, P_0 el peso bruto en kilogramos, se tendrá que $M = 20 = fP_0$ ó $P_0 = \frac{20}{f}$, y la carga útil por quintal vivo

$U_0 = \frac{\frac{20}{f} - 30}{1.300}$. Por otra parte, si Θ_0 es la duración total del recorrido, expresada en segundos, $\Theta_0 = \frac{\Lambda}{0,80}$ y $\frac{\Theta_0}{U_0} = \frac{\Lambda}{0,80} \frac{1.300}{\frac{20}{f} - 30}$;

en firmes de piedra partida, $f = 0,03$ y, por tanto, $\frac{\Theta_0}{U_0} = 2,55 \Lambda$. Para que la longitud Λ equivalga, desde el punto de vista del tiro, á la del perfil que se considera, será preciso que $\frac{\Theta_0}{U_0} = \frac{\Theta}{U}$ ó $\Lambda = \frac{1}{2,55} \frac{\Theta}{U} = 0,39 \frac{\Theta}{U}$.

Hay que reconocer que el procedimiento de Lechallas participa á la vez de los principios en que se basan los de Favier y Durand-Claye: ofrece la ventaja respecto de aquél de que la investigación de velocidades convenientes se apoya en datos prácticos y no en fórmulas hipotéticas; se echa de ver el defecto esencial de no tener en cuenta las variaciones de fatiga, inherentes á la duración de esfuerzos de la misma intensidad, ó en otros términos, la longitud de las rasantes; las relaciones entre T y v no están comprobadas por suficiente número de ensayos, y, por último, los cálculos que requiere, aunque sencillos, pecan de difusos.

Resumiendo: ninguno de los métodos expuestos debe admitirse en absoluto; pero el de Durand-Claye es el que más utilidad presta en las aplicaciones, y sería bastante aceptable si se dispusiera de más elementos para fijar con alguna exactitud los valores numéricos de los coeficientes.

III.—ELECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES.

Importancia del problema.—La fijación de la pendiente máxima que haya de adoptarse en el estudio de una carretera y el modo de distribuir las rasantes de diferente inclinación, son asuntos de interés capital y que influyen de manera decisiva en los servicios que, como instrumento industrial, haya de prestar el camino. Por mucho tiempo, hasta bien entrado este siglo, los Ingenieros consagraban atención preferente á la planta de la vía, sacrificando el perfil longitudinal: recórranse las carreteras antiguas, y se verá que con tal de no quebrar largas alineaciones rectas, no se vacilaba en subir y bajar laderas por líneas próximas á las de pendiente máxima. El sistema debe proibirse, pues, como con razón decía Dumas, una traza ondulada, cuyos elementos no formen ángulos grandes con la recta que une los extremos, apenas aumenta el recorrido en $\frac{1}{3}$ ó $\frac{1}{6}$, gravando en la misma relación los gastos de transporte. Por el contrario, rampas algo inclinadas ocasionan incrementos notabilísimos: basta para convencerse recordar que el esfuerzo de tiro en función de la carga, la pendiente por unidad y el peso del motor, es, para firmes de macádam (fórmula (2), pág. 294):

$$T = (0,03 + h) P + ph.$$

Con sólo hacer $h = 0,03$, la tracción es más de doble que en terreno llano; pasa del triple para $h = 0,06$, y del cuádruplo para $h = 0,09$. Como el esfuerzo de las caballerías no puede variar en proporciones tan considerables, hay que recurrir á rebajar las cargas; pero el resultado económico, ó sea el coste de transporte de la unidad de peso útil, crece siempre con rapidez extraordinaria. Cuantos esfuerzos se hagan, pues, para reducir las pendientes, estarán bien justificados.

Mas no es el tiro ó la entidad de la carga las únicas circunstancias á que hay que atender al fijar la inclinación máxima: las condiciones topográficas de la zona oponen con frecuencia obstáculos

tales que, so pena de gastos inadmisibles para el establecimiento del camino, se tienen que forzar las rasantes, aunque sea en perjuicio del tráfico. Estas ligerísimas ideas son más que suficientes para que se comprenda la imposibilidad de poder dar reglas fijas para la elección de pendientes, pues que han de influir en ella multitud de elementos.

Lo que sí procede sentar desde luego, es que en vías de mucha frecuentación, no ha de dudarse en suavizar las rasantes hasta donde sea dable, en el sentido económico de la palabra: preferible será aumentar los gastos de construcción á que grandes masas de productos adquieran sobrepuestos de cuantía á causa de los transportes. Es evidente que ambos factores, tiro y establecimiento, y aun la conservación del camino, habrán de considerarse á la vez para decidirse por una solución: el problema, bajo el aspecto teórico, es fácil de plantear, como se verá en el estudio de comparación de trazos; pero en la práctica resulta casi imposible adquirir pleno convencimiento de que la elección hecha sea la más oportuna para los intereses generales.

Otra advertencia ocurre consignar, que aconseja asimismo huir de adoptar inclinaciones fuertes. Es notoria la transformación que se ha iniciado, y que sin duda tomará gran vuelo en lo por venir, en las carreteras ordinarias (pág. 6): en cuanto el tráfico se desenvuelve, tiéndese á sustituirlas con líneas más perfeccionadas y de mayor potencia de arrastre, tranvías ó ferrocarriles económicos. Esta previsión debe contribuir á que se estudie con ahinco el perfil longitudinal, procurando desechar las rasantes que en su día puedan crear dificultades serias para el aprovechamiento de la plataforma, y obliguen á modificar profundamente la traza del camino.

Si, como se ha indicado, la topografía impone, en cierta medida, la inclinación á que se ha de llegar en las rasantes, es indudable que influirá más aún en la manera como éstas se distribuyan. Muy conveniente sería, bajo el aspecto de la tracción, que las rampas más fuertes no se encontrasen en el sentido en que se transporten las cargas de mayor peso, y en general, que en esta dirección se necesite esfuerzo de tiro más pequeño; pero en casi todos los casos hay que ceñirse á las circunstancias del terreno,

incompatibles á menudo con la comodidad y baratura de los arrastres.

En suma, las reglas que cabe establecer son en corto número: se reseñarán, procurando motivarlas.

Fijación de la pendiente máxima.—Desde el punto de vista de la tracción, no debiera pasar la inclinación del límite en que aquélla se anula, y que es (fórmula (3), pág. 294):

$$i = f \frac{P}{P + p},$$

en la que f representa el coeficiente de rodadura, y P y p , respectivamente, los pesos de la carga y el motor. Tratándose de firmes de piedra machacada, $f = 0,03$ é i se diferenciará poco de $0,025$, ó sea de $2,5$ por 100 . Obsérvese de paso que, á medida que se conservan mejor las carreteras, disminuye f , y, por tanto, la pendiente límite, lo que prueba que ciertas inclinaciones que hoy parecen exageradas, no lo eran en realidad en la época que se construyeron los caminos en que se encuentran.

No pasando del valor de i , se lograría la gran ventaja de que todos los vehículos pudieran prescindir de frenos, que se estropean pronto y ocasionan deterioros en las llantas y firmes, en especial cuando se aprietan mucho ó se usa plancha. Por otra parte, en las bajadas no tendrían los motores que contener los carruajes, esfuerzo penoso para ellos, sobre todo, cuando van enganchados en varias filas, pues entonces las caballerías de varas ó de lanza son las únicas que pueden ejercerlo: en las rampas la tracción se hace en buenas condiciones y sin exceder de los límites normales.

Los razonamientos que anteceden se aplican siempre que las caballerías marchen al aire de paso; pero se supondrá ahora que vayan al trote, es decir, que se trate de carruajes de viajeros. Estos vehículos se construyen y conservan con esmero; puede contarse siempre con la acción del freno, y si algunos carecen de este aparato son coches muy ligeros, en que se dispone de fuerza de tiro relativamente considerable: por todos estos motivos las bajadas no ofrecen dificultad, aunque la inclinación rebase la de

2,5 por 100 y llegue á ser de 6 ó 7. Pero en las subidas la experiencia demuestra que en rampas de 0,03 con cargas moderadas, se mantiene durante algún tiempo el aire de trote, siendo indispensable reducir la pendiente á 0,02 ó 0,025 para que aquél se mantenga en todo el trayecto. Esta consideración induce, por tanto, á aceptar el mismo límite, ó sea i , para cualquier clase de vehículos.

En terrenos quebrados, á menos de alargamientos ó gastos enormes, es imposible ceñirse á inclinaciones tan exiguas; y para establecer la máxima admisible, aparte de la circulación probable y de las condiciones topográficas, hay que atender á las pendientes de las buenas carreteras de la comarca, en particular de las que afluyan ó sean cruzadas por la que se proyecta. Oportuno será que las que se adopten no sean superiores á aquéllas, pues de lo contrario pudiera ser preciso disminuir las cargas en el camino nuevo, con grave daño del tránsito que lo utilizase á la par que otro ú otros de los ya construídos. No hay más que recordar la fórmula (6), página 297:

$$C = \frac{P}{p} = \frac{M - h}{f + h},$$

para comprender la exactitud del aserto.

De ordinario, las mayores pendientes no han de ser superiores al 6 ó 7 por 100: no obstante, en virtud de los principios que se han dado á conocer en el artículo 2.º de este capítulo (págs. 297 y 298), no ocasionará obstáculo grave alguna rampa más inclinada, siempre que su longitud sea muy pequeña, pues con esta condición la podrá salvar el tiro que, como se sabe, es susceptible de desarrollar esfuerzos bastante mayores que los normales, en cortos períodos de tiempo. En corroboración del límite que se ha señalado, se demostrará que es aceptable para carros de transporte al paso y para coches arrastrados al aire de trote.

Respecto de los primeros, si son de un solo motor ó de varios en una fila, bajan las pendientes sin necesidad de freno, porque la fuerza de retención que han de ejercer aquéllos es igual ó difiere poco de la que reclama el tiro en tramos horizontales: el descenso

se efectúa con seguridad. Si las caballerías se enganchan en varias filas, no debe prescindirse de frenos.

Las subidas exigen disminución de cargas, con relación á las usuales en horizontal; pero si se cuida de que las rampas más pronunciadas no sean demasiado largas, el mayor esfuerzo exigible hará que las reducciones no influyan muy desfavorablemente en el coste de los transportes.

Los coches de viajeros, por sus condiciones y por el exceso de fuerza de que disponen, bajan al trote sin peligro cuestas de 0,06 ó 0,07 de inclinación, conforme se dijo en renglones anteriores. No acontece lo propio en las subidas: en el momento que la rampa excede de 0,03, no es posible más aire que el de paso, como no sea durante cortísimo tiempo; pero, en cambio, al disminuir la velocidad, se cuenta con la parte de energía que se empleaba en mantener el trote, y que permite á los motores salvar con holgura tramos relativamente penosos, como son los de rasantes al 6 y 7 por 100.

Distribución de pendientes.—Está subordinada, por lo común, á la constitución topográfica de la zona, y sólo pueden darse cinco reglas generales:

1.^a En el perfil no ha de trazarse ninguna rasante que por su ángulo con el horizonte ó su longitud obligue á disminuir las cargas en todo el recorrido ó á emplear refuerzos para la tracción. Esta advertencia es de igual índole que la que se hizo respecto á las pendientes del camino proyectado con relación á las de la red construída en la comarca.

2.^a Á menos que las inclinaciones no pasen del límite i , se ha de procurar no bajar inútilmente para subir después, ó viceversa. Es claro que, si no se atiende á este precepto, se aumenta la fatiga ocasionada por la contención en el descenso, aun cuando se atenúe enfrenando, y crece también la producida al subir. Aceptando la teoría de Durand-Claye, se recordará que la fatiga (fórmula (5), pág. 297) es:

$$Q = \left(\frac{K}{C} + f \right) L + \left(1 + \frac{1}{C} \right) \Delta,$$

en la que Δ representa el desnivel ficticio que resulta de reemplazar en el perfil con tramos de inclinación i todas las bajadas que

excedan de ella. Estas rasantes hacen subir el valor algebraico de Δ y, por tanto, la fatiga.

3.^a En terrenos llanos ó poco ondulados gana la tracción estableciendo pendientes y contrapendientes, de inclinación muy pequeña, con preferencia á largos tramos horizontales, porque la práctica demuestra que los motores trabajan mejor cuando gozan de descansos relativos y no se ven obligados á que por mucho tiempo funcionen de igual manera sus músculos. Se logra á la vez el beneficio de facilitar el desagüe del camino, que tiende á encharcarse en las partes á nivel, en particular en localidades húmedas. En atención á esta circunstancia, procede disponer los tramos horizontales en terraplén ó terreno natural y nunca en trincheras profundas. También debe recomendarse que en estas últimas se cuide de no colocar en puntos bajos los cambios de rasante, á fin de evitar que se forme una especie de cubeta, que impida la rápida evacuación de las aguas hacia los costados.

4.^a En zonas quebradas no es admisible la sucesión de rampas y pendientes, que alargarían la longitud, produciendo aumento innecesario de fatiga, á tenor de lo consignado en la regla 2.^a; pero para comodidad de los motores, en vez de una sola rasante, conviene trazar varias de pendientes desiguales, forzando la inclinación de algunas, respecto á la que correspondería á la rasante única. En ciertos casos, como en las inflexiones bruscas de las reueltas, hasta es ventajoso el establecimiento de tramos horizontales: éstos, y en general todos los destinados á descanso relativo de los motores, deben proyectarse, á ser posible, en el cruce de arroyadas ó barrancos ó en la cabeza redondeada de los contrafuertes.

5.^a No deben aceptarse, por lo general, encuentros de rasantes formando ángulo entrante en desmontes ó saliente en terraplenes, pues en ambos casos se aminoran las inclinaciones y las obras de explanación, admitiendo una rasante más, que podrá ser la que enlace las intersecciones del eje con las líneas del terreno natural. Los ángulos entrantes en desmontes ofrecen además los inconvenientes señalados en la regla 3.^a

Resumen.—Todo lo expuesto se resume en los principios siguientes:

1.^o Reducir en lo posible las pendientes, sobre la base de que

lo mejor es no exceder de la inclinación de 2,5 ó 3 por 100, pero que se puede llegar sin dificultad, en países escabrosos, hasta 6 ó 7, y aun rebasar este límite en tramos cortos.

2.º Cuidar de que las rasantes no sean más pronunciadas que las de las carreteras de la zona, procurando, por el contrario, hacerlas más suaves.

3.º Tener muy en cuenta al fijar la pendiente máxima, la cuantía probable de la frecuentación, á fin de que no resulten gravámenes demasiado sensibles en grandes masas de transporte.

4.º Evitar rampas aisladas que por su pendiente ó longitud encarezcan el movimiento en toda la extensión del camino.

5.º Proscribir subidas y bajadas innecesarias, siempre que las inclinaciones de las rasantes pasen del 3 por 100.

6.º Reemplazar los tramos horizontales largos con pendientes y contrapendientes muy tendidas.

7.º Quebrar las rasantes de mucha longitud, substituyéndolas con varias de inclinaciones distintas.

8.º Disponer las rasantes de suerte que no se corten en ángulo entrante en los desmontes ni saliente en los terraplenes.

IV.—INFLUENCIA DE LAS CURVAS.

Inconvenientes de las curvas.—Es evidente que la planta del eje de la carretera no puede ser la línea quebrada que forman las alineaciones rectas: cada dos consecutivas de éstas se tienen que enlazar por un arco tangente á ambas, que es, por lo común, circular ó parabólico. Estas curvas ocasionan á la tracción incomodidades y resistencias suplementarias, tanto mayores cuanto más cerradas aquéllas ó cuanto menor sea el radio en arcos circulares.

Se examinarán los diversos efectos producidos por las curvas.

1.º El tiro tiene que colocarse en dirección de las cuerdas del arco, lo que no presenta graves dificultades para la tracción si no son muchos los motores; pero en caso contrario, y sobre todo en las reatas, el esfuerzo de una caballería se transmite oblicuamente á la que va detrás, la cual tiene que consumir parte del suyo en

oponerse á la acción que tiende á derribarla. La consecuencia natural es que la fuerza de arrastre disminuye, siendo muy sensible el efecto en curvas de radio pequeño por la mayor oblicuidad de las sacudidas.

2.^o Las curvas de poca amplitud presentan dificultades para el cruce de los carruajes, en particular si los motores están dispuestos en varias filas. Nada ocurriría si se colocaran en dirección de una curva concéntrica al eje del camino; pero lo que pasa es que la caballería delantera tiende á separarse del eje y hace que se desvíe todo el tiro, ocupando zona más ancha de la plataforma. Para que dos vehículos se crucen con comodidad, es indispensable que los conjuntos de cada uno de ellos y sus motores permanezcan inscritos en la mitad de la anchura del afirmado, condición que requiere, en caminos estrechos, curvas abiertas.

3.^o Ordinariamente en los vehículos, los ejes son fijos y locas las ruedas. Cuando tienen cuatro de éstas, como el juego delantero gira alrededor de la clavija maestra (pág. 23), los dos ejes pueden formar cualquier ángulo entre sí y tomar constantemente la dirección de los radios de curvatura de la alineación: en realidad no existe roce de deslizamiento. Cada rueda se mueve con independencia de la montada en el mismo eje, de suerte que la exterior da mayor número de vueltas que la otra, porque recorre más longitud á igualdad de tiempo. Mas si no hay deslizamiento, en el sentido estricto de la palabra, en un instante cualquiera se efectúa un ligero giro de la rueda alrededor de la vertical, puesto que sólo en línea recta puede rodar un cilindro sobre un plano. El efecto del giro se percibe con claridad si se observa un carruaje al dar la vuelta completa: cuando pasa por una curva, el cambio de dirección y el giro son progresivos, y la amplitud total de éste se mide por el ángulo en el centro. La rotación ocasiona un rozamiento tanto mayor cuanto más pequeño es el diámetro: no tiene gran importancia y carece de interés el determinarlo.

4.^o El mayor inconveniente de las curvas es la exposición á vuelcos en los carruajes que marchan con mucha rapidez. La fuerza centrífuga que se desarrolla se aplica al centro de gravedad y en dirección del radio, esto es, transversalmente al movimiento: dicha fuerza, al componerse con el peso, da una resultante

oblicua que, si encuentra al firme fuera de la batalla, hace volcar al vehículo. Aun cuando no se llegue á este extremo, por la poca intensidad de la resultante, el efecto resulta siempre pernicioso, porque el vehículo es empujado en sentido transversal, y si la acción excede al roce de las ruedas con el suelo, se coloca atravesado, resultando para el tiro una resistencia suplementaria, que molesta y fatiga á los motores.

En los coches de cuatro ruedas, el centro de gravedad está próximo á la parte trasera, que es la más cargada; la fuerza centrífuga la hace girar alrededor de la clavija maestra, y la caja tiende á colocarse de través, produciéndose movimientos bruscos que en las bajadas son á veces causa de accidentes.

En cuanto dicha fuerza es de cierta entidad, las personas que ocupan los vehículos experimentan sensaciones desagradables, parecidas á las que resultarían de esfuerzos que se dirigieran á lanzarlas de sus asientos.

Todos estos hechos desaparecen sensiblemente con curvas de radio grande, lo que no es de extrañar recordando que la expresión de la fuerza centrífuga es $\frac{mv^2}{R}$.

5.º Los inconvenientes señalados en los números anteriores suben de punto si se disponen seguidas dos curvas de pequeño radio y de convexidad en diferente sentido, á las que suelen darse los nombres de *curva* y *contracurva*. Semejante traza debe prohibirse en absoluto, estableciendo entre los dos arcos una alineación recta de 20 metros, por lo menos, de longitud.

6.º También aumentan los obstáculos propios de las curvas cuando se agregan á los inherentes á rasantes muy inclinadas. Procede estudiar con detención el modo de no acumular dificultades; pero en terrenos abruptos, al apoyarse la traza en laderas escarpadas y al cambiar bruscamente de dirección en las revueltas, suele no ser posible evitar el empleo simultáneo de pendientes fuertes y curvas cerradas. En el último caso citado ya se indicó (pág. 312) la conveniencia de situar las inflexiones en tramos á nivel ó ligeramente inclinados; cabe además, en obsequio á la seguridad del tránsito y á la comodidad de la tracción, ensanchar lo bastante el camino en aquellos puntos, para que, al

cambiar de dirección el tiro, pueda quedar inmóvil unos instantes el vehículo hacia la mitad del arco.

Límites de los radios.—Se ha visto que para disminuir los inconvenientes que ofrecen las curvas deben trazarse con suficiente amplitud; pero, por otra parte, cuando la alineación recta se interrumpe es por la necesidad de contornear obstáculos naturales y, por tanto, bajo el aspecto económico, conviene disminuir los radios todo lo posible. Para saber hasta qué punto deben sacrificarse condiciones tan opuestas, no hay más medio que averiguar el límite prudencial de reducción de radios que permita el movimiento de carruajes en circunstancias aceptables. La práctica demuestra que con tal que el radio no baje de 30 metros, los obstáculos reseñados no son insuperables para vehículos pesados ó ligeros, siempre que en estos últimos no exceda la velocidad de 12 kilómetros por hora: si la marcha es más rápida, de 15 ó 16 kilómetros, el radio mínimo puede fijarse en 50 metros.

En terrenos excepcionalmente quebrados, en que los trabajos de explanación son muy costosos, llegan á admitirse curvas de 25 y 20 metros: en estos casos, para precaver accidentes, es indispensable disminuir la velocidad de los carruajes de viajeros.

La experiencia acredita que el movimiento por curvas de radios superiores á 50 metros, se verifica con idéntica facilidad que en alineaciones rectas.

Resumen.—1.º Por lo general, deben trazarse las curvas con radios que no bajen de 50 metros; pero en terrenos ásperos, puede descender el mínimo hasta 30.

2.º No hay dificultad en adoptar curvas y contracurvas seguidas cuando los radios pasen de 50 metros; de lo contrario, se ha de intercalar una recta de 20 metros de longitud mínima.

3.º Se ha de procurar que no coincidan pendientes fuertes con curvas cerradas.

CAPÍTULO II.

CONDICIONES GENERALES Á QUE HAN DE SATISFACER
LAS TRAZAS.

Clasificación de las condiciones.—Se comprende desde luego la importancia del estudio del trazo de una carretera, porque de él depende la utilidad que preste la vía de comunicación. Tratándose de carreteras del Estado, provinciales ó municipales, no hay que discutir su dirección general, pues no debe proyectarse ninguna que no se halle previamente incluida en los respectivos planes, comprensivos de las que están ó han de estar á cargo de aquellas entidades. La inclusión de una carretera en el plan de las del Estado es objeto de una ley especial que puede presentar el Gobierno después de trámites administrativos, en los que intervienen los Ingenieros, con sujeción á las disposiciones vigentes sobre el particular, consignadas en la ley de 4 de Mayo de 1877 y el Reglamento para su ejecución de 10 de Agosto del propio año. Los planes de carreteras provinciales se forman por las Diputaciones respectivas, con arreglo á los preceptos de la ley y Reglamento citados, y se aprueban por el Ministerio de Fomento. Los de carreteras costeadas por los Municipios se redactan por éstos y se someten al examen del Gobernador de la provincia para su aprobación, encomendándose el fallo al Ministerio de Fomento, en caso de no llegar á un acuerdo.

De aquí resulta que se conocen casi siempre los puntos extremos de la carretera y, por lo común, algunos intermedios, que se especifican en la designación con que el camino figura en el plan correspondiente. Pero aun así, caben de ordinario varias soluciones entre los puntos forzados, aparte de que el arranque y término suelen no estar determinados taxativamente, como cuando la línea ha de partir ó dirigirse á empalmar con otra ya construída ó proyectada. Para hacer el estudio, el Ingeniero tiene que atender sobre todo á consideraciones *técnicas*; pero no debe prescindirse de decir algo de las *administrativas* y *políticas*, relacionadas en particular con el fomento de la riqueza y la defensa del territorio,

que, si bien no son de la competencia exclusiva de los Ingenieros, tienen que conocerlas para proponer soluciones en casos concretos ó para ilustrar á la Administración sobre los planes de que antes se ha hablado.

Consideraciones administrativas.—Han de encaminarse á favorecer los intereses materiales del país, abaratando los transportes y disminuyendo, por tanto, los gastos de producción. Para escoger la traza más ventajosa, hay que darse cuenta de la cantidad y naturaleza de mercancías que aprovecharán el camino; investigación difícil, pues aun cuando entre los puntos que se van á enlazar se efectúe ya el tráfico por otras vías, es probable que aumente, en proporción casi imposible de prever, al mejorar las comunicaciones. Y si el cálculo de movimiento de mercancías ofrece vaguedad, en mucha mayor escala el de viajeros, como consta á cuantos Ingenieros se han ocupado en problemas de esta índole, que no pueden esquivarse, con arreglo á los formularios vigentes, al redactar proyectos de caminos de hierro.

Entre los muchos casos en que asaltan dudas respecto á la dirección de la traza, se citará uno que se presenta muchas veces.

Supóngase que se trata de proyectar una carretera entre dos puntos *A* y *B*, con la condición de servir directa ó indirectamente á un centro *C* algo desviado de la línea *AB*. Cabe admitir dos soluciones: 1.^a, unir *A* y *B* por la línea más corta, y establecer otra que, arrancando de ésta, se dirija á *C*; 2.^a, alargar la comunicación entre *A* y *B*, haciendo que pase por *C*. Con la primera se favorecen las relaciones de *A* y *B*, perjudicando á *C*; con la segunda ocurre lo contrario: la elección dependerá del tráfico que se presuma entre los diversos puntos, y en caso de optar por construir la ramificación á *C*, aún será necesario estudiar la circulación probable para fijar si el empalme con *AB* habrá de acercarse á uno ú otro de los extremos de esta línea, en la hipótesis de que las circunstancias topográficas dejen libertad para establecer el punto de enlace.

La conveniencia del tráfico no es el único elemento que ha de considerarse: los gastos de construcción y conservación, principalmente aquéllos, tienen marcado influjo. En este mismo capítulo se verá que es sencillo llegar á la fórmula algebraica que ex-

presa el gasto anual que supone una carretera, bajo todos aspectos; mas en la práctica presta poca ayuda por la indeterminación de ciertos coeficientes, y, en suma, es extremadamente difícil, en muchos casos, escoger entre varias trazas la más económica para los intereses generales.

El ejemplo que antecede se complica si en lugar de un solo centro hubiera varios á ambos lados de la línea *AB*, porque las soluciones son numerosas y muy inciertos los datos que sirven de guía en la elección.

Consideraciones políticas.—Entre ellas, las de más interés son las estratégicas, cuyo examen no compete al Ingeniero de Caminos.

Las carreteras puramente militares, destinadas al transporte de fuerzas y material de guerra ó á enlazar fuertes, se proyectan y construyen por los Ingenieros del ejército.

Las que tienen por objeto satisfacer necesidades del comercio y de la industria, se establecen sin más intervención que la del Ministerio de Fomento, siempre que no estén en la proximidad de costas, fronteras y plazas fuertes; pero de no ser así, hay que atenerse á disposiciones especiales. Por Real decreto de 17 de Marzo de 1891 se ha definido la *zona militar* de España, que se divide en cuatro secciones: 1.ª, Pirineo ó frontera del Norte; 2.ª, frontera de Portugal; 3.ª, costa del Norte, y 4.ª, costas de Levante y Mediodía, á las que se han agregado las islas Baleares y Canarias por Real orden de 30 de Septiembre del propio año. En toda la extensión de la zona no se pueden estudiar, proyectar ni construir vías de comunicación, de cualquier clase que sean, sin que intervenga y dé su aprobación el Ministerio de la Guerra. No se ha reglamentado todavía el procedimiento, debiéndose poner de acuerdo aquel Ministerio con los de Gobernación, Fomento y Marina para dictar las disposiciones necesarias. De temer es que, dada la considerable superficie que se asigna á la zona, surjan obstáculos en la práctica, muy difíciles de evitar, puesto que los intereses que representan los funcionarios civiles y militares son distintos y con frecuencia incompatibles.

Consideraciones técnicas.—Las carreteras han de trazarse de modo: 1.º, que el tránsito se verifique cómoda y seguramen-

te, y que se realice la economía posible en los transportes, condición esencialísima y que es el resultado que se persigue al proyectar la nueva vía; 2.º, que no se hagan gastos inútiles de construcción, reduciéndolos á los estrictos para asegurar circulación fácil: esta circunstancia no puede conciliarse á veces con la primera, y se hace preciso sacrificar, hasta cierto punto, una ú otra, según la entidad del tráfico; 3.º, que el camino no imponga una conservación demasiado costosa, eligiendo al efecto entre varias direcciones aceptables la que resulte mejor orientada, la que se acerque á canteras de que se puedan extraer los materiales necesarios, etc.

Estas consideraciones inducen: 1.º, á disminuir la longitud cuanto sea dable, porque, á igualdad de los demás factores, el trayecto más corto aminora los gastos de tracción, establecimiento y conservación; 2.º, á no subir ni bajar inútilmente, no sólo con objeto de no aumentar el desarrollo, sino para economizar fatiga á los motores; 3.º, á observar escrupulosamente, respecto de límites y distribución de pendientes y curvas, los principios puntualizados en el capítulo I de esta Sección; 4.º, á plegarse lo posible al terreno para economizar obras de explanación y fábrica. Estas condiciones son casi siempre contradictorias: así el disminuir la longitud obliga á aumentar la inclinación de las rasantes; cuanto más se adapte la traza á las ondulaciones naturales, mayores serán el desarrollo y las pendientes, etc.

Sólo á fuerza de habilidad y práctica se llega á discernir hasta dónde hay que atender á cada condición, pues es imposible dar reglas generales, y queda siempre ancho campo para que el Ingeniero aplique el golpe de vista adquirido por la acción simultánea de sus conocimientos técnicos y de la experiencia.

Comparación de trazas.—El paralelo entre varios trazados aceptables para una misma carretera se haría sencillamente si se supiera determinar con exactitud ciertas cantidades. Para una solución cualquiera se conocerán con bastante aproximación: su longitud, L ; el gasto de establecimiento, E , y la suma anual, c , necesaria para conservar un kilómetro. Puede hallarse por los medios ya reseñados—pero sin seguridad de acierto—la longitud horizontal Λ equivalente, bajo el aspecto del tiro, á L , y el nú-

mero de toneladas, T , que representa el tráfico entre los extremos. Si se llama i el interés corriente de la unidad monetaria, y p el precio medio en la localidad del transporte de una tonelada á un kilómetro, por terreno horizontal, es evidente que la construcción de la carretera supone que el país invierte anualmente la suma:

$$iE + cL + pTA \dots (1).$$

En España puede tomarse $i = 0,06$; p varía de una á otra localidad. No es rigurosamente exacto que el coste del transporte de una tonelada sea proporcional á Λ , porque para eso sería preciso que el gasto variase en razón directa de la fatiga, y, por tanto, del peso de los motores; lo cual es cierto para la manutención, pero no para otros desembolsos, como los originados por conductores, guarniciones, cuadras, etc.

Si á pesar de todo se piensa seguir este método de comparación, que en suma da indicaciones útiles, se calculará la expresión (1) para las diversas soluciones, cuidando de deducir T y Λ , de suerte que sean los términos medios que correspondan á las dos direcciones de la carretera.

Por lo común, este sistema, que puso de moda Favier, no se usa en la práctica, por las causas de error que se han señalado: la comparación versa únicamente sobre los gastos de establecimiento, y á lo más, en casos especiales, se tienen en cuenta los de conservación. No hay para qué decir que el paralelo resulta deficiente, pues que se prescinde del importantísimo elemento del coste de la tracción, el cual debe discutirse aduciendo cuantos datos sean oportunos, ya que no sea dable expresarlo con toda exactitud.

Variaciones de trazados.—Cuando se trata de variar la traza entre dos puntos de una carretera ya construida, desaparecen algunos de los inconvenientes reseñados en el párrafo que antecede, pues el valor de T se puede conocer con alguna aproximación. Estas rectificaciones tienen muchas veces por objeto substituir una ó varias rampas que constituyen rasantes excepcionales, con relación á las demás, por otras más suaves. El pro-

blema de determinar la pendiente media adecuada es susceptible de solución teórica, admitiendo las fórmulas de Durand-Claye.

Con efecto, si x es dicha pendiente; y , la longitud que resultará para la parte rectificada; H , el desnivel entre los puntos extremos, y $M\hat{p}$, el esfuerzo máximo que se ha de imponer á cada caballería, el cual es función de y y de la carga específica C , admitida en el resto del camino, existen entre las tres incógnitas x , y y M las relaciones:

$$C = \frac{M - x}{f + x} \quad (\text{fórmula (6), pág. 297}).$$

$$H = xy.$$

$$M = \frac{1 - \sqrt{0,023 y}}{3} \quad (\text{fórmula (7), pág. 298}).$$

Eliminando x entre las dos primeras, resulta $C = \frac{My - H}{fy + H}$ (1), y la eliminación de M entre ésta y la tercera conduce á una ecuación de tercer grado en y , que se resuelve aproximadamente por tanteos.

En ocasiones, la solución más favorable se ve en seguida con claridad; pero no debe olvidarse que el suavizar rasantes impone aumento en el desarrollo, siempre que el camino antiguo esté bien trazado: ejemplos pueden citarse, sin embargo, en que, por errores cometidos en el establecimiento de aquél, se ha logrado disminuir á la par longitudes y pendientes.

Por lo demás, las variaciones se estudian del mismo modo que las carreteras nuevas, y ninguna advertencia especial hay que hacer, como no sea que debe meditarse mucho antes de acometer una rectificación, pues no es raro que el tránsito siga prefiriendo largo tiempo el camino antiguo, á pesar de sus malas condiciones y de exigir servicio de refuerzos, como lo ha acreditado la experiencia en alguna carretera de España.

Operaciones que exige un proyecto.—En primer lugar, hay que *reconocer* el terreno para formarse idea de los obstáculos que se han de salvar y escoger la zona en que conviene desarrollar el camino; en segundo, tomar los datos de campo necesarios para que aquélla quede definida y para poder proyectar y

(1) Obsérvese que en esta fórmula y está expresada en metros y en la anterior en kilómetros.

valorar las obras de toda especie; en tercero, trasladar los datos al papel y hacer la designación de la traza en planta y perfil; y en cuarto y último, redactar todos los proyectos y documentos necesarios para justificar, detallar y proponer las obras, de suerte que no quepa duda alguna respecto á su disposición, coste y manera de ejecutarlas. De todas estas cuestiones se tratará en los capítulos que siguen.

CAPITULO III.

RECONOCIMIENTOS.

Divídese este capítulo en dos artículos: en el primero se recuerdan, á manera de introducción, las relaciones que guardan entre sí los elementos que determinan la configuración física de los terrenos, y se destina el segundo á circunstanciar las operaciones indispensables para escoger, con probabilidades de acierto, la zona en que se ha de desenvolver la traza.

I.—CONFIGURACIÓN DE TERRENOS (1).

Configuración teórica.—Sin considerar las desigualdades que presenta el fondo de los mares, ofrece la superficie del globo numerosas protuberancias, separadas por depresiones más ó menos anchas y profundas, que se denominan *valles*. Las partes salientes reciben la designación de *montañas* cuando se elevan más de 500 ó 600 metros sobre los terrenos adyacentes, y los de *colinas*, *cerros*, *montículos*, *lomas*, *terromonteros*, *mamblas*, etc., los más bajos. Claro es, sin embargo, que esta clasificación no tiene rigor absoluto, y que en los nombres ejerce gran influencia la topografía de la zona: los habitantes de la meseta de Castilla ó de la Mancha conceptuarán montañas elevadas las que no pasarían de cerros ó colinas en la Alpujarra ó el Pirineo.

(1) En la exposición de buena parte de este artículo se sigue el método empleado por Durand-Claye en su obra.

El pico más elevado del globo, el Gaorisankar, en el Himalaya, mide 8.840 metros de altitud, menos de $\frac{1}{700}$ del radio de la tierra (1); en Europa, el monte Blanco, en los Alpes, sólo alcanza á 4.810 metros sobre el nivel del mar, menos de $\frac{1}{1200}$ del radio (2).

La tierra parecería perfectamente lisa desde una distancia de 12.000 kilómetros de su superficie: con efecto, está probado que la vista humana no percibe dimensiones bajo ángulos menores que $0^{\circ},03$; si se supone, pues, que el observador esté colocado en dirección de la tangente OB (fig. 74.^a) al círculo terrestre que determina el nivel medio del mar, en el punto B , sobre el que se eleva uno de los picos más altos, y se toma en la prolongación del radio la distancia $BD = 9$ kilómetros; haciendo igual á $0^{\circ},03$ el ángulo BOD , la resolución del triángulo rectángulo OBD hace ver que OB es próximamente igual á 17.000 kilómetros. Conociendo OB se determina con sencillez OA , que resulta de unos 12.000 kilómetros. Para el monte Blanco, OB y OA se reducen respectivamente á menos de 9,5 y 5 kilómetros.

Á medida que el observador se acerca, pero sin llegar á distinguir detalles, las protuberancias se acentúan y aparecen formando grandes masas, que se llaman *cordilleras*, *cadena* ó *sierres*, las cuales masas presentan en conjunto varias aristas A , D , etc. (fig. 75.^a), intersección cada una de ellas de dos planos inclinados en sentido contrario. Las aristas son las *divisorias de aguas* de la cadena; los planos AB , AC , DC , etc., las *laderas*, *faldas* ó *vertientes*, que se prolongan hasta que encuentran al mar BM ó á la ladera CD , que arranca de otra divisoria. Las aristas inferiores que determinan el encuentro de las laderas, son el lugar geométrico de los puntos más bajos de las depresiones ó valles, y se llaman *vaguadas*, aunque también se conocen con el nombre alemán de *thalweg*, que significa *camino del valle*.

En las depresiones se reúnen las aguas que corren por las la-

(1) Según Faye, el radio medio de la tierra es 6.371.000 metros.

(2) Algunas autoridades en Geografía no consideran el monte Blanco como el pico más elevado de Europa, sino el de Elbruz, en el Cáucaso, que tiene 5.630 metros de altitud (menos de $\frac{1}{1100}$ del radio); pero, por lo común, se cuenta dicha montaña entre las de Asia.

deras, dando lugar á ríos, ramblas, torrentes, arroyos ó regajos, según el caudal y la permanencia ó discontinuidad de las corrientes.

Todas las aguas que caen sobre la superficie AB y que no desaparecen por filtración ó evaporación, van directamente al mar: los planos AC y DC limitan la zona que vierte en el curso de agua, cuya vaguada es C , zona que se llama *cuenca* de la corriente respectiva.

Supóngase ahora que el observador continúa acercándose y que divisa ya algunos pormenores de las laderas: reconoce en seguida que no son planas, sino que están surcadas por depresiones, ó *valles de segundo orden*, próximamente perpendiculares á la dirección de la divisoria principal: estos valles tienen asimismo sus *vaguadas y vertientes*, que originan *cuenca*s y *divisorias* también de *segundo orden*.

Es de observar que en la configuración general que se ha descrito, las divisorias y vaguadas participan de la pendiente de la ladera á que pertenecen. Si se considera un corte (fig. 76.^a) perpendicular á la divisoria principal A , y se marca la traza AC de la ladera con su pendiente media, la divisoria y vaguada secundarias no son paralelas á aquella línea, con la que en tal caso se confundirían: lo que ocurre es que la divisoria transversal arranca de la A , siguiendo la dirección AD menos inclinada que AC , hasta cierto punto desde el cual baja con rapidez á la vaguada de primer orden, formando el *contrafuerte* ó *estribación* DC . Por el contrario, la vaguada secundaria se dirige hacia la principal por un tramo BC más tendido que AC , y arranca de la divisoria A con la pendiente pronunciada que señala la línea AB . La divisoria ADC limita dos cuencas de segundo orden, y es, por tanto, intersección de dos vertientes, que corresponden respectivamente á cada una de aquéllas.

La disposición geométrica de divisorias, vaguadas y cuencas se dibuja en la figura 77.^a, en que se representan con trazos las secciones de mayor inclinación. DD' es la divisoria principal y VV' la vaguada correspondiente; las divisorias secundarias son las paralelas DD_1 y $D'D'_1$, que terminan en las estribaciones D_1E y D'_1E' ; la vaguada de segundo orden se compone de los dos barrancos DV_1 y $D'V_1$, y del tramo V_1V_1 , menos inclinado y pró-

ximamente paralelo á DD_1 . Los paralelogramos $DV_1V_1D_1$ y $D'V_1V_1D'_1$ figuran las laderas: la cuenca de la vaguada es el área $DD_1V_1D'_1D'_1D$, y los triángulos D_1EV_1 , $D'_1E'V_1$ vierten directamente á VV' .

Examinando más de cerca las laderas $DV_1V_1D_1$ y $D'V_1V_1D'_1$, se observa que á su vez se hallan surcadas por otros valles, á que corresponden nuevas vertientes $D_2V_2V_2D_2$, $D'_2V_2V_2D'_2$, etc.; vaguadas como la V_2V_2 , con los dos tramos D_2V_2 y D'_2V_2 ; divisorias D_2D_2 , $D'_2D'_2$, etc., y cuencas $D_2D_2V_2D'_2D'_2D_2$, etc. Todos los elementos citados serán de *tercer orden*.

Las vertientes anteriores dan lugar á otras de *cuarta* magnitud, $ddvv$, $d'd'vv$, etc., y á las respectivas vaguadas, divisorias y cuencas, y así sucesivamente hasta llegar á los pliegues más insignificantes del terreno.

Las consideraciones expuestas permiten sacar desde luego algunas consecuencias relativas á pendientes de las diversas partes de una comarca. Se ha visto ya que en una cuenca, las inclinaciones de las vaguadas de orden inmediatamente inferior son mayores en el origen que en su confluencia con el valle, y que en las divisorias sucede lo contrario; en la parte media ambas líneas se aproximan al paralelismo. La pendiente máxima de las laderas de una cuenca es superior á la de las divisorias que la limitan: la ladera $D_2V_2V_2D_2$, por ejemplo, es más inclinada que la divisoria DD_1 , pues, de no ser así, en V_2V_2 no habría vaguada. Resulta, por consiguiente, que las pendientes generales de las cuencas van aumentando á medida que crece el número que indica el orden respectivo, y las inclinaciones de las corrientes de agua se acentúan más y más desde su desembocadura hasta el nacimiento.

Las protuberancias terrestres afectan de ordinario las formas generales que se han descrito, encadenándose entre sí; mas á veces se presentan elevaciones aisladas, que se llaman *peñones*. Son casos excepcionales, entre los que se encuentran el de Gibraltar, en la Península; el de la Gomera, en nuestras posesiones de África, y el célebre pico de Teide, en la isla de Tenerife. Ocurre también á veces que, por diversas causas, corrientes de importancia se abren paso á través de cordilleras, constituyendo los llamados *desfiladeros*, *tajos*, *hoces* ó *gargantas*. Pueden citarse en Espa-

ña, entre otros muchos, el tajo de los Gaitanes, ocasionado por el Guadalhorce (Málaga), y el desfiladero por que corre el Ebro á su entrada en la provincia de Tarragona.

Configuración real.—En la naturaleza no existen las formas geométricas que se han supuesto, con el solo fin de poder abarcar el conjunto. En el corte transversal de una cuenca (figura 78.^a) no aparecen vértices, ni en las divisorias, *A, A*, ni en la vaguada, *B*. Las formas se redondean casi siempre y los ángulos se reemplazan con curvas *MN, PQ, RS*; además, los valles de alguna importancia, cuyas aguas no son torrenciales, se cubren de capas de sedimentos arrastrados por las crecidas, constituyéndose una zona *TU* más ó menos ancha y casi horizontal, surcada por el *cauce ó lecho* de la corriente. La horizontalidad desaparece á veces, dibujándose á los costados del perfil y en los desagües de vaguadas secundarias líneas algo inclinadas, que corresponden á generatrices de conos de deyección.

Las divisorias y vaguadas no arrancan normalmente de la divisoria de orden superior, y forman ángulos más ó menos abiertos; las divisorias, por último, lejos de ser líneas rectas, ofrecen sinuosidades muy marcadas en planta y alzado.

CUMBRES Y PUERTOS.—El estudio de la forma de las divisorias, es de interés capital en los reconocimientos. Los puntos más elevados, *P* (fig. 79.^a), son los *picos, cimas ó cumbres*; por lo común, aparecen aislados y corresponden verticalmente á los arranques de divisorias inferiores, que se separan de la principal algo más abajo. Las depresiones *C* de la divisoria, se llaman *collados, gargantas, gollizos ó puertos* (1): se deben á corrosiones ú otras causas de igual naturaleza que las que han abierto los valles; marcan de ordinario el origen de dos vaguadas, que corren en sentido opuesto, por cada una de las dos cuencas que limita la divisoria, y son los pasos indicados para salvar el obstáculo que ofrece la sierra á la comunicación de sus vertientes, circunstancia que justifica el interés que la situación y altitud de los puertos tienen

(1) Los puertos se denominan también *portachuelos y abras* en la región andina del Pacífico: la primera palabra se usa en la actualidad con el mismo significado en algunas provincias de España.

para el Ingeniero encargado de proyectar una vía á través de la cordillera.

En las cumbres y gargantas los planos tangentes á la superficie del terreno son horizontales. Con efecto, como los puntos de tangencia están en la divisoria, el suelo tiene que descender transversalmente, y la curva que se trace en dicho sentido, pasando por *C* ó *P*, dará tangente horizontal en su encuentro con la divisoria. El plano tangente en una cima deja por debajo todos los puntos inmediatos del terreno, mientras que el que toca á la superficie en un puerto la corta por dos curvas tangentes entre sí, *AMB* y *CMD* (fig. 80.^o).

La advertencia que acaba de hacerse permite determinar con sencillez la posición y altura de los collados, cuando se posee la representación del terreno por curvas á nivel. El plano tangente producirá las dos indicadas; los planos horizontales, trazados por encima de la garganta, darán intersecciones de dos ramas, próximamente semejantes á aquéllas, y de convexidades opuestas. Los cortes horizontales, inferiores al puerto, determinan asimismo líneas de dos ramas, de curvaturas en diferente sentido y comprendidas en las zonas *AMC* y *BMD*. Por tanto, las gargantas ofrecerán el carácter distintivo de cuatro curvas convexas con relación á un punto; y examinando las secciones horizontales inmediatas, se advertirá que las cotas aumentan desde la depresión en uno de los sistemas de curvas opuestas, y disminuyen en el otro. Es preciso fijarse en esta última condición, porque hay puntos singulares que, sin ser collados, tienen apariencia de tales, como se ve en la figura 81.^o En cuanto á la altitud de los puertos, resulta inmediatamente de las cotas de las curvas á nivel que pasan por ellos.

Si no se dispone de curvas acotadas, existen á veces mapas exactos y detallados, con representación clara del sistema orográfico y señalamiento de las altitudes de las cimas y puertos más importantes: tal ocurre en los publicados para gran número de provincias de España, por el Coronel de Ingenieros D. Francisco Coello, y con el notabilísimo de la Península, dado á luz en Gotha (Alemania) por Vogel, modelo de precisión y de grabado, que sólo tiene el defecto de estar en escala demasiado pequeña (1 por 1.500.000).

Es común no tener á mano más que mapas en que se figuran las direcciones de las corrientes de agua, ó por mejor decir, las vaguadas de diferentes órdenes. Ahora bien: en virtud de los principios establecidos, se podrá trazar la divisoria con bastante aproximación, contorneando los orígenes de dos series de corrientes que marchen en sentidos contrarios. Conocida la divisoria, cabe deducir la situación de los puertos, valiéndose de los siguientes caracteres:

1.º Casi siempre, al nacimiento de una vaguada, corresponde un collado.

2.º Cuando dos corrientes bajan en sentido opuesto por las dos cuencas de una misma divisoria y tienen muy próximos sus nacimientos, es probable que el puerto correspondiente sea de poca altitud relativa, y tanto más bajo cuanto más importancia revisitan las corrientes que de él se desprenden.

3.º Cuando una vaguada corre paralela á una divisoria y cambia bruscamente de dirección, es de presumir que sea por encontrar una divisoria secundaria que se opone á su marcha, ocasionando que la principal, que descendía á la par que la corriente, se eleve en su intersección con la de segundo orden. Es casi seguro, por tanto, que exista depresión en la proximidad del cambio de dirección de la vaguada.

4.º Cuando dos ríos, *CD* y *EF* (fig. 82.^a), corren en sentido inverso, y que después de marchar, en alguna longitud, cerca de la divisoria, *AB*, se separan de ella, es verosímil que en las inmediaciones de *M* se encuentre una garganta, puesto que en la pendiente de *AM* tendrá influencia preponderante la vaguada *EF* y la *CD* en la de *BM*, y que ambas corrientes son de inclinaciones contrarias.

Los principios reseñados no dan más que indicaciones probables, tanto porque á los caracteres en que se fundan no se les puede atribuir rigor absoluto, como porque es raro que los mapas inspiren confianza completa en todos sus pormenores. Hay que recurrir, por consiguiente, á la inspección ocular, y determinar la altitud de todos los puertos cuyas condiciones convenga conocer. Esta última operación no exige gran exactitud en los reconocimientos para estudios de carreteras, y puede efectuarse por me-

dio de una nivelación barométrica, sin necesidad de observaciones simultáneas, haciendo sólo la corrección referente á la temperatura. No hay que insistir en este punto, que se supone perfectamente conocido.

II.—ELECCIÓN DE ZONA.

Generalidades.—El primer trabajo á que ha de dedicarse el Ingeniero encargado de redactar un proyecto de carretera, es fijar la zona más á propósito para desarrollar la traza, escogiéndola con suficiente anchura para que en el gabinete puedan estudiarse las diversas soluciones admisibles. Al efecto, y antes de ir al campo, deben consultarse los mapas más exactos de la localidad, á fin de darse cuenta de su configuración general y de todos los obstáculos que haya que vencer para enlazar los puntos de paso impuestos por la Administración ó entidad que costee el camino: este estudio preliminar facilita muchísimo las operaciones ulteriores. Si se trata de una provincia de que el Instituto geográfico haya publicado las hojas correspondientes, en escala de 1 por 50.000, se adquirirá cabal idea de la orografía é hidrografía de la comarca; pero casi nunca podrá prescindirse de recorrerla, con objeto de estudiar los pormenores de configuración, y de tomar ciertos datos acerca de la constitución geológica, naturaleza de cultivos, materiales, precios, etc., que son indispensables para la formación del proyecto, como se irá viendo en éste y los capítulos que siguen. En la mayoría de los casos, no se dispone de mapas tan precisos y detallados como los del Instituto, y hay que consultar los de Vogel, Coello ú otros: de ciertas regiones se poseen cartas bastante concienzudas, como las trazadas por Fontán para Galicia, por Schultz para Asturias, etc.

Clasificación de terrenos.—Para mayor sencillez se clasificarán los terrenos que hayan de reconocerse en tres grupos: 1.º, *planicies, llanuras, vegas, mesetas, navas y páramos*, que no tienen inclinación sensible (1); 2.º, los terrenos *entrellanos*, tipo á que

(1) Las llanuras extensas reciben otros muchos nombres. Suelen llamarse *landas* en Francia y *estepas* en Rusia cuando no están cultivadas;

pertenecen los de las cercanías de Madrid, que presentan ligeras ondulaciones, pero sin llegar á 3 por 100 la pendiente general en sentido de la dirección del camino; 3.º, las comarcas *quebradas ó escabrosas*, de que pueden citarse numerosos ejemplos en España, como todas las provincias septentrionales, la de Almería, etc.

RECONOCIMIENTOS EN TERRENOS LLANOS Y ENTRELLANOS.

Terrenos llanos.—Los reconocimientos en llanuras son por demás sencillos, pues pudiéndose trazar las rasantes con pendientes muy suaves, claro es que la línea recta será la dirección más á propósito para satisfacer á los requisitos técnicos que se puntualizaron en el capítulo anterior (pág. 319), y que á ella deberá aproximarse en planta el eje definitivo que se adopte para la plataforma. Sin embargo, multitud de circunstancias obligan á quebrar la alineación teórica, y precisamente la análisis de aquéllas es el objeto primordial de los reconocimientos. Así:

1.º Las planicies ofrecen á menudo quebradas más ó menos anchas y profundas que hay que cruzar, ó corrientes de agua, á veces caudalosas. En tales casos es indispensable una inspección muy detenida para determinar el punto conveniente para salvar el obstáculo, atendiendo sobre todo á la cimentación, dirección, luz y altura de la obra de arte, desviando en su consecuencia la traza.

2.º Abundan también marjales en los llanos, de que es preciso huir, so pena de gravar, quizá en proporciones considerables, los gastos de construcción y conservación.

3.º La línea recta atraviesa á veces fincas de valor, y puede resultar económico separar de ellas el trazado. En ocasiones se descubre en seguida la solución más ventajosa: de no ser así, se toma una faja bastante extensa para estudiar y comparar direcciones.

sabanas en la América del Norte, y *pampas* en la del Sur, ya estén destinadas á pastos, como en la República Argentina, ya á la explotación del nitrato sódico, como las enclavadas en la provincia de Tarapacá, que es hoy territorio chileno.

4.º Si existen uno ó varios pueblos ó establecimientos importantes en las cercanías, habrá de analizarse si conviene ó no que el camino pase por todos ó algunos de ellos, lo que obligará á elegir la zona, de suerte que sea factible la comparación. El problema suele ser difícil por carecer de suficientes datos, en especial de los relativos á tráficos probables, cuya entidad es casi imposible prever.

Con arreglo á estas indicaciones, que, por otra parte, son aplicables á las demás clases de terrenos, se determinará la zona en que se hallen comprendidas las trazas que deban discutirse.

No será inoportuno observar que á menudo divisorias importantes están situadas en vastas planicies. Sin salir de nuestro territorio, puede citarse la divisoria de Guadiana y Guadalquivir, que en no corta extensión se desarrolla por las llanadas de la Mancha: poblaciones hay, como Puertollano, que se asientan en ambas cuencas, circunstancia que quizá explique la etimología de aquel nombre. Mas en tales casos no hay para qué preocuparse con la elección del punto de paso de la divisoria, por lo imperceptibles que son las diferencias de altitud.

Terrenos entrellanos.—No es posible, por lo general, establecer en ellos largas alineaciones rectas; pero no ofrece dificultad unir los puntos extremos por una línea quebrada de ángulos bastante obtusos y de inclinaciones suaves, que quede dentro de los límites admitidos para rasantes y curvas. Tan es así, que el problema se complica muchas veces por el número de soluciones aceptables que ocurren, siendo imposible dar reglas fijas para escoger la mejor, resultado á que no es fácil llegar sin el auxilio que dan la práctica y el golpe de vista, que no todos los Ingenieros poseen en igual grado. No obstante, es común acercarse á la traza más conveniente, procediendo como se verá en seguida al tratar de países montañosos, es decir, salvando las divisorias y vaguadas por los puntos que reúnan ciertos requisitos.

La zona que se fije habrá de tener, como en el caso anterior, la amplitud oportuna para el estudio y discusión de los trazos comparables.

RECONOCIMIENTOS EN TERRENOS QUEBRADOS.

Dificultades que presentan.—En terrenos agrios, los reconocimientos son laboriosos, porque las condiciones técnicas (páginas 319 y 320) se hacen más y más incompatibles, á medida que es más desigual la superficie del suelo, que se estrechan los valles y son más abruptas las cadenas de montañas que separan los extremos del camino. Preciso es, ante todo, con el estudio de mapas y la inspección detenida del terreno, que habrá de recorrerse varias veces en ambos sentidos, adquirir conocimiento exacto de su configuración geográfica, formándose idea clara de las vaguadas, divisorias y cuencas de diferentes órdenes, de suerte que no quepa duda alguna acerca de los obstáculos que deben salvarse. En muchos casos prestan ayuda eficaz para la elección de traza los carriles abiertos por el mismo tránsito, pues es hecho casi general que estos caminos, dadas las pendientes y curvas que presentan, siguen direcciones bien escogidas y salvan las barreras naturales por puntos á propósito: así se explica la frecuencia con que las carreteras van muy cerca y aun ocupan en largos trayectos aquellas vías.

Es indudable que cuesta á veces ímprobo trabajo darse cuenta del enlace de los elementos que determinan la constitución del terreno, que parece á primera vista que forman red inextricable; pero no lo es menos que, vencida esta grave dificultad, las operaciones sucesivas podrán ser largas y penosas, pero cabe dar reglas, si no fijas, suficientes á lo menos para proceder con seguridad relativa en demanda de la solución que se busca. Bajo este aspecto y contra lo que la mayoría de los autores piensan, se llega á la conclusión de que, aparte del trabajo material, cuanto más montuosas sean las comarcas, mayores son las probabilidades de discernir la traza más oportuna dentro de las condiciones técnicas establecidas, puesto que las mismas circunstancias locales la imponen, por decirlo así. Lo contrario acontece en terrenos entrellanos, en los que, siendo bien sencillo encontrar solución admisible, ofrece serias dificultades la investigación de la más económica.

Puntos obligados de paso.—Conocidas las divisorias y vaguadas de órdenes superiores que separan las localidades que se han de unir, debe ser el primer cuidado estudiar los puntos por que tienen que salvarse, lográndose así circunscribir el problema, reduciéndolo á otros más sencillos. Y no sólo conviene fijar dichos pasos, sino algunos más que se especificarán.

PASO DE DIVISORIAS.—Las divisorias se cruzan casi siempre, como es natural, por gargantas; pero es necesario hacer algunas advertencias respecto á su elección. En primer lugar, debe observarse que la fijación de pasos sólo debe entenderse en sentido de definir la proyección horizontal de los mismos, pues, de ordinario, la traza de rasantes determina trincheras más ó menos profundas en los puertos, las cuales hacen descender, con relación al terreno natural, los puntos efectivos por donde se pasa de una á otra cuenca. Á veces, cuando la trinchera se reemplaza con subterráneo ó galería, la ordenada roja correspondiente á la negra del gollizo puede reducirse en proporción extraordinaria: el túnel se fija en la parte de la montaña que requiera perforar menor longitud.

Por lo común, el paso se hace al descubierto; y para satisfacer á la vez á los requisitos de mínimo desarrollo del trazado y de no subir sin necesidad, se efectúa el cruce por el punto más bajo entre los que se hallen próximos á la dirección general del camino. Sin embargo, la regla tiene excepciones, pues si es preciso salvar varias divisorias y se fijan, conforme se ha dicho, los puertos más á propósito en cada una de ellas, no hay duda de que el más elevado será punto forzoso de paso; pero para el cruce de las divisorias próximas podrá convenir escoger, no los collados de menor altitud, sino los inmediatos al primero. Así, sean *A*, *B*, *C*, *D* (fig. 83.^a) los puertos más bajos de las diferentes divisorias, elegidos entre los que no obligan á desviar demasiado la traza: el de mayor altitud, *B*, marcará el punto más elevado á que es necesario subir; mas para enlazarlo con *D*, quizá sea ventajoso abandonar el *C* y buscar otro *C'* de altitud comprendida entre las de *B* y *D*.

Casos hay también en que, por otras consideraciones, se deben cambiar los puntos de cruzamiento. Tal ocurre, verbigracia, cuando la ladera á que conduce el puerto más bajo es tan abrupta que no permite el descenso en circunstancias aceptables: á veces

el paso se hace imposible, como se observa en algunas gargantas del Pirineo, á causa de rocas tajadas á pico que forman muralla infranqueable y que sirven todavía ó sirvieron en otras edades para contener las aguas de lagos elevados. En todos los continentes se encuentran ejemplos notables de estos fenómenos.

En cuanto á la investigación de puertos y sus altitudes, nada hay que agregar á lo que se expuso en las páginas 328 á 330.

PASO DE VAGUADAS.—Conviene determinar *a priori* los puntos adecuados para establecer las obras de fábrica de importancia: en la elección habrán de tenerse en cuenta consideraciones técnicas y de interés general. No es éste lugar oportuno para discutir aquéllas, bastando consignar que para que el puente se construya con solidez y economía, deberá proyectarse, á ser posible, en sitio en que el río vaya bien encauzado y en que el subsuelo ofrezca garantías para la cimentación, prefiriendo, á igualdad de circunstancias, la solución que permita disponer la obra en sentido perpendicular á la corriente para evitar la mayor longitud y coste de un puente oblicuo.

Otro requisito que no ha de olvidarse es que la obra no se separe mucho de la dirección general del camino, y que de desviarse lo efectúe hacia agua-arriba, donde el puente exigirá, por lo común, menos desagüe. La regla tiene, sin embargo, excepciones, y hay casos en que la desviación de la traza para cruzar una corriente ofrece ventajas: si el camino ha de descender por una ladera para subir por la opuesta, después de pasar el río, es claro que remontando la posición de la obra se logrará, si bien á cambio de mayor desarrollo, disminuir el descenso por una de las faldas, y la subida por la otra: estudio detenido reclama á veces la investigación del trazado más beneficioso.

Condiciones relacionadas con la comodidad del público influyen asimismo en la elección, pues el puente, al enlazar las dos márgenes, puede utilizarse, no sólo para el camino proyectado, sino por los peatones y vehículos que sigan otras direcciones. La proximidad, por ejemplo, de un pueblo importante decide á veces la situación que procede adoptar para la obra de fábrica.

Advertencia análoga á la hecha respecto á los puertos debe consignarse aquí. Las condiciones expuestas servirán para elegir

la proyección horizontal del paso; mas la cota habrá de fijarse por otras muy distintas. El caudal de agua que haya de correr bajo el puente y el nivel máximo del río en las mayores crecidas, son requisitos indispensables á que hay que atender para deducir la altura á que se ha de trazar la rasante, cota que tiene el mayor interés para el estudio de la traza antes y después del paso de la corriente.

Otro problema suele presentarse, sobre el cual se dirán breves palabras. Á veces existe un puente antiguo en el río, que se pudiera aprovechar para el camino: si se halla en la dirección general de éste, la solución es ventajosa y procede admitirla desde luego; pero si forzase á desviar la traza, será indispensable tomar los datos que permitan el estudio minucioso de la variante para compararla, sujetándose á los principios conocidos, con el trazado directo.

OTROS PUNTOS OBLIGADOS.—Con frecuencia, el Ingeniero habrá de atender en los reconocimientos á fijar otros puntos de la traza, que faciliten los trabajos ulteriores ó sirvan para precisar la cuestión que se trata de resolver. No es factible enumerar las múltiples circunstancias que se ofrecen en la práctica, pero bueno será citar algunas de las más comunes.

1.^o Es muy general que no estén perfectamente definidos los extremos del camino, que arranca y termina á veces en poblaciones; debe empalmar otras con carreteras ó ferrocarriles construídos ó en proyecto, y tiene á menudo que prolongarse por las provincias limítrofes.

En los dos primeros casos, trátase de pueblos ó de empalmes, se han de estudiar con detención los puntos de partida y llegada más adecuados para conciliar, á ser posible, la economía de construcción con el servicio del público, y aun con las buenas condiciones de conservación. No cabe dar reglas para la elección, sencilla en ocasiones, y que exige en otras practicar detenidos reconocimientos y hasta redactar y comparar dos ó más trazados.

Cuando la carretera no tiene en la provincia más que cierto número de trozos y se prolonga por una de las inmediatas, previenen acertadamente las disposiciones oficiales que se pongan de acuerdo los Ingenieros respectivos para fijar el punto común á ambas demarcaciones.

2.^a Si existen pueblos ó establecimientos fabriles ó industriales en las cercanías, será necesario discutir la conveniencia de acercar ó no á algunos de ellos la traza, que en caso afirmativo habrán de considerarse también como puntos obligados.

Procediendo como se ha dicho, los trabajos sucesivos se limitarán al estudio detallado de la zona que permita enlazar en buenas condiciones cada dos jalones consecutivos de los que marcan ya la dirección general de la traza. Se supondrá sucesivamente: 1.^o, que el trozo que se va á estudiar sea paralelo á una divisoria ó á uno de los dos valles cuyas cuencas limita aquélla; 2.^o, que sea perpendicular, tomando al efecto como tipo el descenso de un puerto á una vaguada. Claro es que podrán presentarse otras muchas circunstancias; pero las observaciones que siguen, y, sobre todo, la práctica, servirán de guía al Ingeniero para resolver con acierto las dificultades inherentes á trabajos de esta índole.

Traza paralela á una divisoria ó á un valle.—El camino se desarrollará próximo á la divisoria, por el mismo valle ó á una altura intermedia, según la posición de los puntos que se han de unir; pero como en determinados casos cabe elegir entre las tres soluciones, no estará de más reseñar sus ventajas é inconvenientes.

TRAZA INMEDIATA Á LA DIVISORIA.—En la parte más elevada de las laderas no han arrancado todavía, por lo general, las estribaciones, ni han nacido la mayor parte de las corrientes de agua: se comprende, pues, que los gastos de explanación y obras de arte serán de escasa entidad; también es común encontrar en las cercanías y en las mismas excavaciones material á propósito para firme y fábricas. En suma, la construcción resulta económica, sin que esto quiera decir que á veces no haya que salvar contrafuertes y otros obstáculos naturales que hagan perder en parte aquella ventaja.

Las condiciones para la conservación dependen de varios elementos, entre ellos la altitud y la orientación: con frecuencia el camino se halla expuesto á la acción de nieves y fuertes vientos, dificultándose el mantenerlo en buen estado, á pesar de invertir grandes cantidades en paleos y recebo.

De ordinario, la traza recorrerá una comarca pobre y poco po-

blada, resultando que el tráfico local será de poca importancia. Sin embargo, en ocasiones la masa de población es grande, como pronto se verá.

TRAZA POR UN VALLE.—Los valles importantes son anchos en largos trozos; no tienen inclinación sensible, á consecuencia de las capas de acarreo que los cubren, y permiten establecer, por lo general, el camino, como en el caso de planicies ya examinado. La construcción es, por consiguiente, económica, en cuanto á movimiento de tierras; las obras de fábrica, escasas en número, por encontrar reunidas varias corrientes, pueden ser costosas por su magnitud y la dificultad de cimentarlas; las expropiaciones suben frecuentemente á cantidades crecidas; la adquisición de materiales suele resultar onerosa, por tener que transportarlos desde largas distancias, causa que influye asimismo en la conservación, que, por lo demás, se hace en excelentes condiciones, como el terreno no sea demasiado húmedo.

En los valles se hallan casi siempre los grandes centros de población é industria; de modo que los caminos que los recorren satisfacen en alto grado á los intereses generales, facilitando el movimiento rápido y económico de muchos y variados productos y de numerosos viajeros. Á veces, no obstante, ya por condiciones higiénicas, ya por tratarse de la explotación de ciertas industrias, la población huye de las llanadas y se aglomera en las regiones montañosas; ejemplo ofrece parte de la provincia de Huelva, en la que se explica el fenómeno por ambas razones: el paludismo de los valles y la situación de los yacimientos minerales, que constituyen su principal riqueza.

Á pesar de lo expuesto, no se crea que los trazados por valles no presentan nunca serias dificultades que vencer. Sucede á menudo que en las angosturas ó gollizos no queda suficiente espacio para establecer el camino entre el río y el contrafuerte, y que la pendiente transversal de éste impide ó hace costosa la solución de proyectar la vía en ladera: entonces hay que recurrir á uno de estos tres medios, cuyas ventajas é inconvenientes habrán de discutirse con detención en cada caso: 1.º Pasar á la otra margen, salvando otra vez el río cuando desaparezca el obstáculo, si es necesario que la traza siga por la ribera opuesta: hay que construir,

por tanto, dos obras de fábrica, quizá considerables. 2.º Meterse en la ladera antes de llegar al estrechamiento, cruzando el contrafuerte por una garganta y descendiendo á un afluente del río para entrar de nuevo en el valle: es preciso, pues, subir para bajar luego, y el perfil se empeora, además, por tener que emplear con frecuencia rasantes de la máxima inclinación admisible, inconvenientes que suben de punto si la traza ha de continuar alejada del valle en trayecto largo, atravesando, no una, sino varias estribaciones. 3.º Disponer la vía siguiendo la angostura, sosteniendo la plataforma con muros ó escolleras por la parte del río, alojándola en una trompa abierta en la escarpa del acantilado si la naturaleza del terreno lo permite, ó, por último, cortando en galería el contrafuerte si éste es de poco espesor.

Con todas las vías proyectadas en los valles, aunque no se sitúen en el mismo lecho de la corriente, se corre el riesgo de que, á pesar de la cota dada á la rasante, se inunde la carretera á consecuencia de una crecida extraordinaria, superior á las observadas con anterioridad. Los terraplenes que hay que construir son de todos modos muy elevados, y su conservación difícil y costosa; así que en ocasiones se prefiere que la plataforma sea sumergible, aun á sabiendas de los reparos que después de las avenidas tienen que ejecutarse en las obras. En suma, el nivel á que ha de colocarse la rasante constituye problema muy delicado y que hay que estudiar con esmero: es práctica muy general, para obviar las dificultades, apoyar, cuando es posible, el camino á suficiente altura en la ladera, á pesar del alargamiento que experimenta su desarrollo al ceñirse á las ondulaciones del terreno.

Otros obstáculos con que se tropieza siguiendo los valles principales, son los conos de deyección, difíciles de salvar por ser de suyo movedizos, acreciéndose periódicamente con los acarreos de las aguas. Á veces no hay más remedio que asentar la vía sobre los conos, reconstruyéndola siempre que sea preciso; otras cabe adoptar una de estas tres soluciones: contornear la base de dichos conos; levantar la traza para pasar por encima de los vértices, ó construir subterráneos en la masa de los aterramientos.

TRAZA Á ALTURA INTERMEDIA.—Si la traza se desarrolla por la zona en que arrancan las estribaciones, como la pendiente

transversal es fuerte, la explanación será cara y reclamará á menudo la construcción de largos muros de sostenimiento; algunas obras de fábrica revestirán cierta importancia por sus dimensiones ó cimientos, y, en resumen, los gastos de construcción serán, por lo común, de bastante entidad. Por otra parte, el trayecto resultará largo por las pronunciadas inflexiones de la vertiente; mas, á pesar de todo, es el trazado muy á propósito en laderas algo tendidas, para evitar los inconvenientes de las riadas en los caminos que siguen la dirección de valles, según se ha expresado en el párrafo que precede.

Descenso de un puerto á una vaguada.—DESCENSO POR UN VALLE.—Desde la garganta que se considera bajarán, á uno y otro lado de las cuencas limitadas por la divisoria, valles más ó menos anchos y pendientes, uno de los cuales se dirigirá á la vaguada, en la que se ha señalado de antemano el punto de paso. Si por sus condiciones se presta dicha depresión á que se asiente en ella el camino, sin ejecutar obras de tierra extraordinarias, se seguirá su dirección, aplicándose á la traza cuantas advertencias se han hecho para las que corren por el fondo de un valle.

En el caso muy común de que el que arranca del puerto no reúna los requisitos indispensables, se reconocerán los inmediatos; y si se encuentra alguno admisible, será económico, por lo general, ir á buscarlo desde el punto de partida, descender por él y llegar al sitio en que se proyecta el puente, siguiendo el valle del río. Ésta ó la anterior solución se aplican á menudo, aun tratándose de divisorias muy importantes, pues es frecuente que las cuencas, muy escarpadas en un sentido, tengan inclinación mucho más suave en el contrario. Así, por ejemplo, en el Pirineo se descende con relativa facilidad hacia Francia, mientras las estribaciones españolas son muy ásperas; en la Península, los montes Ibéricos, en que está situada la divisoria de primer orden, ó sea de los dos mares, ofrecen laderas tendidas hacia el Océano y abruptas hacia el Mediterráneo.

DESCENSO POR LADERA.—Cuando no sea posible el descenso por un valle, hay que bajar apoyándose en una ladera; disposición económica bajo el aspecto de las explanaciones, pero que suele requerir la construcción de muros importantes. Las vertien-

tes que con preferencia habrán de reconocerse son las que limitan el valle que se desprende de las inmediaciones del collado; y si ninguna de las dos satisficiera, las correspondientes á puertos cercanos.

El primer reconocimiento que se hace tiene por objeto averiguar si la ladera ofrece bastante desarrollo para establecer la carretera con la pendiente media que se desee, sin necesidad de retrocesos, esto es, sin apartarse demasiado de su dirección general. Los tanteos se efectúan partiendo de lo alto, á fin de dominar mejor el terreno y percibir con claridad sus inflexiones, y trazando con cualquier instrumento que mida ángulos verticales una línea quebrada, cuyos lados tengan la inclinación admitida y se adapten á las principales sinuosidades del suelo, que vendrán á ser los vértices del polígono. Claro es que, según que la última visual pase por encima, por debajo ó por el mismo punto que marque sobre la vaguada el de paso de la corriente, faltará, sobrá el desarrollo ó habrá el estrictamente indispensable.

Pueden abreviarse los tanteos partiendo de la divisoria el Ingeniero y del valle un Ayudante: cuando ambos operadores se encuentren á la misma altura, el desarrollo será el necesario, y excesivo ó deficiente según que el segundo efectúe el cruzamiento por encima ó por debajo del primero.

Si se tiene la representación de las laderas por curvas á nivel, los procedimientos estudiados en Topografía permiten hacer los ensayos con rapidez suma; pero en todos los casos, procédase gráficamente ó por operaciones en el terreno, la pendiente que se emplee deberá ser un poco mayor que la media que se admita para la traza, porque ésta ha de plegarse mucho más á las inflexiones del suelo que las largas líneas de los tanteos.

No basta que una ladera ofrezca desarrollo para apoyar la vía: conviene que satisfaga á otros requisitos, entre los cuales debe ponerse en primer lugar el que su constitución geológica no haga temer corrimientos que podrían dar lugar á abandonar por completo el camino construído, ó, por lo menos, á invertir sumas enormes en trabajos de consolidación. Por desgracia, estos terrenos son comunes en España: entre otros muchos, se citarán los comprendidos entre Beasain y Alsasua, en el ferrocarril de

Madrid á Irún, en que se han ejecutado trabajos colosales para contener las laderas; y los que forman la depresión del Chorro, en el camino de hierro de Córdoba á Málaga, que al correrse destruyeron un magnífico viaducto curvo, que no se ha pensado en reconstruir, después del luminoso informe que dieron tres Ingenieros ilustres (1), variando, por el contrario, la traza, y salvando en subterráneo una de las estribaciones. Y no sólo los terrenos corredizos, sino los que se desmoronan ó descomponen por los agentes atmosféricos, habrán de proscribirse para asiento de vías de comunicación, aunque sea preciso recurrir á otras soluciones para la traza, que á primera vista parezcan más onerosas.

En caso de que puedan utilizarse para la bajada varias laderas de constitución y desarrollo adecuados, se escogerá la más conveniente, basándose en uno ó más de estos caracteres, que hacen deba preferirse una ladera á todas las demás, siendo análogas las otras circunstancias: 1.º, la menor longitud que dé para el camino, lo que induce á elegir la vertiente que más se acerque al desarrollo estrictamente preciso, á menos que alguna esté enfilada en la dirección general de aquél; 2.º, la mínima inclinación transversal para economizar lo posible en obras de explanación; 3.º, el menor número de vaguadas de distintos órdenes que haya que salvar; 4.º, la orientación oportuna para que la línea se conserve sin dispendios extraordinarios. No hay para qué decir que á los dos primeros puntos ha de consagrarse especial atención.

Á veces no se efectúa toda la bajada por una misma ladera, como sucede cuando la que se reconoce presenta una fuerte depresión, á la que no se puede llegar sin revueltas: entonces cabe admitir este sistema ó pasar á una de las vertientes inmediatas, que corresponden á la cuenca de un tributario del río principal, descendiendo por ella y continuando la traza por el valle hasta el punto elegido para el establecimiento del puente.

REVUELTAS.—Si no existe ladera que ofrezca suficiente desarrollo, hay que disponer la traza con retrocesos ó inflexiones pronunciadas, que reciben los nombres de *revueltas*, *tornos*, *recodos*, *recove-*

(1) D. José Morer, D. Eduardo Saavedra y D. Miguel Martínez de Campos.

cos ó ziszás, de suerte que se obtenga la longitud necesaria para salvar el desnivel entre los extremos, contando con que las curvas se establecen en tramos horizontales ó de inclinación muy suave y que, por tanto, habrán de dar el desarrollo simplemente las alineaciones rectas. En los reconocimientos se estudiarán el número de ramas de los recovecos, que de ordinario será par, si el camino descende siempre por la misma ladera; la situación de las curvas que, por lo común, deberán trazarse en los extremos redondeados de los contrafuertes, que separan dos vaguadas inmediatas, y cuantas circunstancias influyan en la seguridad de la circulación y economía de las obras. Los tanteos y comparaciones suelen ser muy difíciles, ó por lo menos largos y penosos en el terreno; pero sencillos y rápidos sobre un plano en que estén dibujadas las curvas á nivel. Tan es así, que convendrá siempre, aparte de los reconocimientos que se hagan en el campo, tomar los datos necesarios para representar toda la zona por aquel sistema, y poder practicar estudios concienzudos en el gabinete.

Las revueltas ofrecen los inconvenientes para la tracción que se señalaron en páginas anteriores; exigen, en la mayoría de los casos, obras costosas de explanación y arte, y ha de procurarse, por consiguiente, economizarlas cuanto sea dable. En terrenos entrellanos, en que las laderas ni son muy elevadas ni de mucha inclinación transversal, las dificultades de los recodos se aminoran, hasta el punto de no presentar obstáculos á la seguridad del tránsito. Sin salir de Madrid pueden citarse como ejemplos la calle de Martínez de la Rosa, que une la de Serrano con el paseo de la Castellana, y la cuesta de la Vega, que descende de la plaza de la Armería al valle del Manzanares.

Observación general.—En todos los reconocimientos, pero en especial en los que se hagan en terrenos quebrados, deben dejarse señales provisionales que indiquen la dirección aproximada de la traza, y tomar anotaciones acerca de los puntos notables de la superficie, para evitar dudas al ejecutar las operaciones topográficas.

CAPÍTULO IV.

TOMA DE DATOS DE CAMPO.

En el campo hay que tomar los datos necesarios para poder representar gráficamente con bastante exactitud la zona escogida para el desarrollo de la traza, y además todos los indispensables para redactar los documentos que constituyen el proyecto. Se tratará de unos y otros con la separación debida.

I.—DATOS RELATIVOS Á LA ZONA.

Como quiera que se suponen perfectamente conocidas las operaciones topográficas, bastarán ligeras ideas respecto á la manera de tomarlos. La zona puede definirse de dos modos distintos: 1.º, por una base y perfiles transversales; 2.º, por curvas á nivel. Aquel sistema se aplica, sobre todo, á comarcas llanas ó entrellanas, y éste á terrenos quebrados.

REPRESENTACIÓN POR UNA BASE Y PERFILES TRANSVERSALES.

Elementos que deben determinarse.—Elígese la base de modo que se aproxime lo posible al eje del camino, lo que no es difícil en países poco montañosos y con práctica de trazados. Conociendo el plano y perfil de dicha línea, así como suficiente número de secciones transversales ligadas á aquélla y que abarquen la zona en toda su anchura, se poseerán los datos indispensables de la planta y relieve del terreno para estudiar y comparar en el gabinete las soluciones admisibles. Es, pues, preciso dirigir las operaciones topográficas con la mira de llegar á ese resultado, levantando el plano y perfil de la base y sacando perfiles transversales, poniendo especial cuidado en multiplicar referencias y puntos de fe, para precaver toda clase de errores.

Plano de la base.—Quedará determinada la base en el momento que se conozcan las longitudes y ángulos de las alineaciones sucesivas. El Ingeniero hace estaci3n en los vértices, que escoge en los sitios que verosímilmente obliguen   cambios de direcci3n, y observa, con cualquier instrumento que mida ángulos horizontales, los que formen las alineaciones, 3 los rumbos si se operase con brújula.

Entre cada dos vértices consecutivos se traza la recta correspondiente, cuya longitud deduce un subalterno por los métodos ordinarios, no habiendo dificultad en tomar la que resulte como proyecci3n horizontal en los trabajos ulteriores,   menos que la pendiente sea muy acentuada y convenga fijarla para hacer después la reducci3n oportuna.

Para completar el plano, deben referirse   la base, por coordenadas rectilíneas 3 polares, cuantos puntos 3 líneas notables se encuentren   uno y otro lado dentro de la faja, contando entre aquéllas los caminos y vaguadas que hayan de atravesarse 3 quedar en las cercanías del trazado.

No hay necesidad de describir el modo de ejecutar estos trabajos ni los que en seguida se reseñarán, así como tampoco el modo de disponer los croquis y anotaciones: bastará indicar la conveniencia de dejar estacada la línea y aun de colocar hitos en ciertos puntos, multiplicando las señales, para conseguir que queden todavía algunas al replantear el eje, lo cual facilita en extremo esta operaci3n.

Perfil de la base.—Se efectúa por niveladas 3 por pendientes: este procedimiento, aunque menos exacto que aqu el, es admisible para proyectos de carreteras. Si se adopta el de niveladas, se encarga, por lo general, de realizarlo un Ayudante que marcha detrás del Ingeniero que hace la demarcaci3n de la línea. En caso de nivelar por pendientes, pueden tomarse los datos para el perfil   la vez que los del plano, con tal que el instrumento mida ángulos verticales y horizontales.

De ser posible, se ha de procurar calcular por las noches las cotas definitivas con los datos estampados en las libretas, para estar   tiempo de corregir en el campo cualquier error que se notare.

Perfiles transversales.—De ordinario se confía á un Ayudante ó Sobrestante la toma de datos correspondientes, verificándolo, según los casos, por niveladas, por pendientes ó con el auxilio de reglones y plomadas. Lo más común es que estos perfiles se tracen normales á la alineación de la base: de no ser así, se mide el ángulo que formen.

De todos modos, hay que cuidar: 1.º, de marcar con toda claridad los puntos de intersección de los perfiles con la base; 2.º, de tomarlos tanto más próximos cuanto mayores sean las inflexiones del terreno; 3.º, de darles la extensión necesaria para que se pueda trasladar al papel toda la faja en que se presume han de hacerse estudios para la fijación del trazado: aun en llanos, la anchura por cada lado no ha de bajar de 15 á 20 metros; 4.º, de no omitir perfil en los sitios en que se observen cambios bruscos de inclinación transversal, sinuosidades acentuadas ó fenómeno de cualquier especie que pudiera influir en la traza definitiva.

REPRESENTACIÓN POR CURVAS Á NIVEL.

Diferentes métodos.—Dibujados el plano y los perfiles longitudinal y transversales, es bien sencillo hallar cuantas curvas á nivel se deseen: el problema se resuelve en Topografía y hay que aplicarlo siempre que se procede conforme hasta aquí se ha dicho, pues, como en lugar oportuno se verá, los formularios vigentes exigen que se tracen aquellas curvas.

Pero directamente pueden tomarse en el campo los datos para ese objeto, y conviene hacerlo en los terrenos quebrados, en general, y muy en particular en los pasos difíciles que han de exigir tanteos minuciosos, como los estrechamientos de valles, laderas que no ofrezcan bastante desarrollo, cauces en que se dude el lugar más á propósito para cruzarlos, etc., etc. Lógrase el objeto por uno cualquiera de los métodos topográficos conocidos; pero el taquimétrico es el indicado por lo que abrevia los trabajos de campo, que son mucho más costosos que los de gabinete. En ciertos casos cabe también emplear sistemas especiales para formar un plano acotado.

PROCEDIMIENTO TAQUIMÉTRICO.—Se elegirán para estaciones los sitios desde que se descubra mayor extensión de la zona, á fin de reducir hasta donde sea posible el número de aquéllas y para que los trabajos marchen con celeridad. Requiere práctica el conocimiento de los puntos que han de tomarse para que no sólo la configuración general, sino los pormenores, queden bien determinados: las divisorias y vaguadas de diversos órdenes, las escarpas acantiladas, los caminos de toda especie, se fijarán con suficiente número de puntos, no olvidando tampoco los que ofrezcan cualquier singularidad.

Antes de dar por terminados los trabajos, es oportuno calcular las coordenadas polares de las estaciones á fin de comprobar los resultados, y repetir, si fuere preciso, las observaciones hechas desde algunas de ellas.

PLANOS ACOTADOS.—Los procedimientos ordinarios suelen presentar graves dificultades en terrenos muy montuosos, aunque las altitudes no sean considerables, sobre todo cuando las divisorias son verdaderas aristas de que arrancan laderas escarpadas; los valles estrechos y sinuosos, hasta el punto de tener tramos que descienden en direcciones contrarias; la propiedad muy dividida, y separados los predios por cercas de piedra ó por setos vivos; finalmente, la vegetación exuberante. En circunstancias tales, los reconocimientos y la toma de datos son penosísimos y costosos, á causa de no poder dar un paso sin pedir licencia para penetrar en fincas y de originar perjuicios de entidad en los árboles y cercados. Estos obstáculos que se encuentran en algunas localidades de España, en especial en las Provincias Vascongadas, no son raros en ciertos departamentos de Francia, y ya los señaló en 1836 el señor Tostain, Ingeniero de Puentes y Calzadas, respecto del de la Mancha.

Pues bien, en casos semejantes el medio práctico para representar la configuración del terreno consiste en levantar el plano y nivelar los caminos antiguos y sendas de explotación, que son siempre muy numerosas, por la misma división de las tierras, y así se logra reunir los elementos para dibujar un plano acotado, del que se deduzcan las curvas á nivel, en suficiente extensión por ambos costados de la dirección probable de la traza. Las lí-

neas determinadas pueden dejar fuera algún punto notable, para cuya fijación sea preciso penetrar en las fincas; mas las dilaciones y gastos se reducen al mínimo.

Por lo general, los caminos y cercas dan idea muy exacta de la localidad, constituyen su armazón y el conjunto se completa con corto número de puntos de relleno. Véase cómo se expresa el señor Tostain en algunos párrafos de su Memoria:

«Los caminos que cruzan la comarca y las cercas de heredades no se han trazado á capricho, como pudiera creerse. Estas últimas siguen siempre aproximadamente las direcciones de las líneas á nivel y de máxima inclinación, á fin de facilitar las labores agrícolas. Al pie de los contrafuertes se encuentra un cercado paralelo al valle y que sirve de límite á los prados que ocupan parte de aquél; cercado que tiene ligerísima pendiente y por cuyo pie corren las aguas que se derivan del arroyo para regar las praderas. En general, cuando hay cambio de dirección en los vallados, puede asegurarse que varía también la inclinación del suelo.

»Los caminos principales van, por lo común, próximos á las divisorias, altura á que se conservan hasta descender rápidamente al valle y subir del mismo modo á la ladera opuesta, á menudo por las líneas de pendiente máxima. Háyanse abierto estas vías por la mano del hombre ó sigan la dirección de los primeros transportes á través de montes y llanuras, antes de roturar y repartir las tierras, es lo cierto que, admitiendo pendientes fuertes, están muy bien trazadas (1).

»En casi todos los valles se encuentra en una ú otra orilla, y á poca distancia del cauce, un camino paralelo á la vaguada, que no sirve más que para explotar aquéllos y que está enlazado con las vías principales por otras que se desarrollan por las líneas de máxima inclinación de las laderas, á uno y otro costado; vías que facilitan además las comunicaciones entre las dos vertientes de la cuenca.

»Aparte de estos caminos que forman la red general del país, y que se establecieron en épocas remotísimas, existen otros muchos que van de una á otra vivienda ó que unen los caseríos, y por los cuales se efectúa el movimiento agrícola. Estas consideraciones explican el conocimiento que se adquiere de la topografía de la zona, con el estudio de sus sendas y vías rurales.»

II.—OTROS DATOS QUE HAN DE TOMARSE EN EL CAMPO.

Los elementos relativos á la configuración del terreno no son suficientes para redactar el proyecto y presuponer los gastos: se

(1) Véase página 333, en que se expuso la misma idea.

necesitan otros muchos que se puntualizarán en este artículo.

Naturaleza del suelo.—Á fin de formarse idea del coste aproximado de la faja que habrá de expropiarse para asentar el camino, se hace indispensable tomar notas circunstanciadas de la clase de cultivos, de los precios medios corrientes en la localidad y de los asignados en los amillaramientos á la hectárea de cada especie de terreno, así como de los perjuicios que desde luego se advierta ha de ocasionar á las fincas la apertura del camino. Los datos relativos al cultivo deben irse anotando en la libreta de perfiles transversales.

Naturaleza del subsuelo.—Es estudio interesantísimo bajo varios aspectos:

1.º Para apreciar la altura máxima que puede admitirse en los desmontes, que será tanto mayor cuanto más fáciles los movimientos de tierra.

2.º Para fijar la inclinación de los taludes, con sujeción á lo que se dijo en la pág. 41.

3.º Para clasificar los productos de la explanación y presuponer su coste. Compréndese bien que conviene definir el terreno, á este fin y á los consignados en los dos párrafos anteriores, no por sus caracteres geológicos, sino por la facilidad que presentan para ser removidos, la cual se estima, por lo común, examinando en el mismo terreno los cortes en que aparezcan al descubierto los bancos ó masas, y los pozos ó norias de las cercanías, y aun practicando sondeos si aquellas indicaciones no satisficieran y la importancia de la obra lo reclamase. En cada perfil transversal se marca la proporción en que se presume han de encontrarse las respectivas clases de terreno, siendo oportuno admitir la clasificación establecida en los formularios, que comprende los cinco grupos siguientes: *tierra franca*, *tierra compacta*, *tránsito de tierra á roca*, *roca floja* y *roca dura*.

4.º Para servir de guía en la investigación de materiales y de condiciones que reuna el terreno para asentar sobre él un camino ó cimentar una obra importante. Asuntos delicados son éstos, en especial el último, que requieren la aplicación de los conocimientos de Geología; por desgracia, suelen dar margen á vacilaciones y á que en lo futuro se produzcan graves accidentes.

Dimensiones de obras de fábrica.—Cuando se trate de aguas permanentes, como las que corren por ríos ó canales, se fijarán las dimensiones de las obras que hayan de cruzarlos, teniendo en consideración el régimen ordinario, las noticias que se adquieran acerca de las mayores avenidas y los puentes ya construídos. Para obras pequeñas, destinadas á salvar vaguadas de escasa entidad, bastarán los datos recogidos de los prácticos del país, y observar la superficie de la cuenca: como regla empírica pueden admitirse luces de 0^m,50 á 2 metros por cada 1.000 hectáreas de vertientes, correspondiendo los límites respectivos á terrenos llanos ó muy escabrosos (1). No es común, sin embargo, apelar á estos cálculos, porque la experiencia enseña bien pronto á discernir con suficiente exactitud los desagües adecuados en cada caso para tajeas, alcantarillas y pontones.

Las dimensiones de los puentes dependen, como es natural, del sitio en que se establezcan, cuestión delicada que se ha de discutir con toda clase de detalles. Al efecto, se cuidará de tomar los datos necesarios para representar la planta y relieve del cauce en extensión suficiente, que puede fijarse como mínimo en un kilómetro agua-arriba y abajo del punto que se elija.

Naturaleza y procedencia de materiales.—Aparte de los datos que acerca de este punto suministran los estudios geológicos, hay que explorar las canteras, fábricas y almacenes en que se puedan adquirir los materiales de toda especie que hayan de emplearse, tomando noticias circunstanciadas del coste de su preparación, del estado y condiciones de los caminos por donde deban verificarse los transportes, de las distancias medias á las obras, etc., etc. El examen de la calidad de los materiales, cuando no se conozca previamente, reclama mucho esmero, huyendo de aceptar, por economía mal entendida, los que inspiren temores de que no han de dar resultados satisfactorios.

Jornales de operarios y medios de transporte.—Son guarismos de todo punto indispensables para calcular el precio de las diversas unidades: nada más sencillo que enterarse de los jornales corrientes en la localidad.

(1) Garrán, *Tratado de la formación de los proyectos de carreteras*: Madrid, 1862.

Riqueza y tráfico de la zona.—Conviene reunir cuantos antecedentes sea posible sobre estos factores, no para demostrar la utilidad pública de la línea, que está reconocida de hecho, si se trata de una carretera del Estado, provincial ó municipal, por haberla incluido en el plan respectivo, sino: 1.º, para proponer el orden de preferencia que se le debe asignar entre los caminos no ejecutados todavía, y en ciertos casos la variación de la anchura normal; 2.º, para que sea factible hacer entrar elementos de tanta monta en las comparaciones de trazados. La riqueza amillarada, las contribuciones, las mercancías exportadas é importadas á los centros que atraviere el camino, el movimiento de viajeros, darán alguna idea del tráfico probable, por más que su apreciación esté sujeta á errores de bulto, según se ha manifestado repetidas veces.

CAPÍTULO V.

TRABAJOS DE GABINETE.

En tres artículos diferentes se explicarán: 1.º, la traslación al papel de los datos tomados en el campo referentes á la planimetría y altimetría de la zona; 2.º, el estudio de la traza en planta y perfil; 3.º, las demás operaciones que deben practicarse para ultimar el proyecto.

I.—REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ZONA.

Para seguir el mismo orden que en el capítulo anterior, se supondrá sucesivamente que se determina la faja por una base y perfiles transversales ó por curvas á nivel.

REPRESENTACIÓN POR UNA BASE Y PERFILES TRANSVERSALES.

Planta.—Con los datos de campo se tienen los suficientes para trazar la línea quebrada, que sirve de base, así como las va-

Riqueza y tráfico de la zona.—Conviene reunir cuantos antecedentes sea posible sobre estos factores, no para demostrar la utilidad pública de la línea, que está reconocida de hecho, si se trata de una carretera del Estado, provincial ó municipal, por haberla incluido en el plan respectivo, sino: 1.º, para proponer el orden de preferencia que se le debe asignar entre los caminos no ejecutados todavía, y en ciertos casos la variación de la anchura normal; 2.º, para que sea factible hacer entrar elementos de tanta monta en las comparaciones de trazados. La riqueza amillarada, las contribuciones, las mercancías exportadas é importadas á los centros que atraviere el camino, el movimiento de viajeros, darán alguna idea del tráfico probable, por más que su apreciación esté sujeta á errores de bulto, según se ha manifestado repetidas veces.

CAPÍTULO V.

TRABAJOS DE GABINETE.

En tres artículos diferentes se explicarán: 1.º, la traslación al papel de los datos tomados en el campo referentes á la planimetría y altimetría de la zona; 2.º, el estudio de la traza en planta y perfil; 3.º, las demás operaciones que deben practicarse para ultimar el proyecto.

I.—REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ZONA.

Para seguir el mismo orden que en el capítulo anterior, se supondrá sucesivamente que se determina la faja por una base y perfiles transversales ó por curvas á nivel.

REPRESENTACIÓN POR UNA BASE Y PERFILES TRANSVERSALES.

Planta.—Con los datos de campo se tienen los suficientes para trazar la línea quebrada, que sirve de base, así como las va-

guadas, caminos y puntos notables que deban figurar en el plano: nada hay que decir respecto de este asunto, como no sea indicar que los formularios prescriben que se presente el dibujo en escala que no baje de $1/2000$; pero el Ingeniero puede adoptar la que estime más adecuada para el estudio del trazo. Por lo general, son á propósito las de $1/2000$ ó $1/3000$, sin que esto implique que no se empleen otras más grandes, de $1/400$ á $1/1000$, para el tanteo de pasos difíciles y travesías de pueblos.

Perfil longitudinal.—Calculadas las cotas con relación á un plano, que puede ser el correspondiente al nivel del mar ú otro cualquiera situado por bajo del punto de menor altitud, para evitar ordenadas negativas, ninguna dificultad ofrece trazar una línea quebrada que pase por todos los puntos nivelados.

Conviene adoptar, en sentido horizontal, la misma escala que para el plano; pero la de verticales ha de ser por lo menos diez veces mayor, á fin de que se acuse el relieve del terreno, del cual no sería fácil formarse idea, admitiendo idéntica escala. Si las ordenadas resultaren demasiado grandes, se acostumbra restarles á todas una cantidad constante, por lo general cierto número de centenares de metros, para la representación gráfica; pero conservando sin variación alguna los guarismos que las expresan.

Perfiles transversales.—Al trazarlos no ha de prescindirse de señalar el enlace de cada uno con la base. Pueden dibujarse desde luego en la escala prescrita en los formularios, que es de $1/200$ para horizontales y verticales.

Cotas de puntos no nivelados.—Al demarcar la traza se necesita á menudo conocer las cotas de puntos no nivelados. Cuando están situados en la base ó en algún perfil transversal, la operación es sencillísima, pues se supone que la inclinación permanece constante entre cada dos puntos, cuyas ordenadas se han deducido directamente; hipótesis razonable, á causa de que si la inclinación variase de modo sensible, se habría tenido cuidado de tomar niveladas intermedias. Con el doble decímetro se mide la cota, ó se calcula por la comparación de dos triángulos semejantes.

Si el punto se halla comprendido entre dos perfiles transversales y fuera de la base, se considera la superficie del terreno como

engendrada por una recta que, apoyándose en aquellos perfiles, se conserva paralela al plano vertical que pasa por la parte de base interceptada por los mismos. Esta ficción, fundada también en la uniformidad de inclinación entre puntos consecutivos, permite deducir con bastante precisión la cota, aritmética ó gráficamente.

Aproximación de longitudes y ordenadas.—Es práctica corriente entre los Ingenieros, no sólo en España, sino en el extranjero, suponer aproximadas las distancias horizontales hasta centímetros, y hasta milímetros las ordenadas, á pesar de que evidentemente las operaciones topográficas y aritméticas que hay que practicar y los medios de representación gráfica que se usan, impiden deducir con exactitud aquellas cifras decimales. Todo lo que sea empeñarse en apreciar más que hasta décimetros y centímetros, respectivamente, las longitudes y cotas, es ocioso: podrán escribirse guarismos de orden inferior, pero á conciencia de que no son rigurosos.

REPRESENTACIÓN POR CURVAS Á NIVEL.

El dibujo de las curvas á nivel, ya se parta de una base y perfiles transversales, ya de un plano acotado, ya de libretas taquimétricas, se hace por los procedimientos conocidos, sin que se necesite explicación de ninguna especie. Tampoco la requiere la manera de levantar el perfil de una línea recta ó quebrada que se trace en el plano. Respecto de escalas, nada hay que añadir á lo dicho en las páginas anteriores.

Sólo se recordará la resolución de algunos problemas sencillísimos estudiados en Topografía, que son de aplicación constante á la traza de caminos.

I.º DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE MÁXIMA EN UN PUNTO.—Basta trazar por el punto *A* (fig. 85.ª, lám. 7.ª) una recta *ab*, que sea próximamente normal á las dos curvas entre que está comprendida: si *ac* es la distancia que las separa, $\frac{ac}{ab}$ medirá la inclinación buscada. Cualquiera otra línea, *a'b'*, tendrá una pendiente $\frac{ac}{a'b'}$ menor que aquélla. Las líneas de inclinación má-

xima, entre las que se cuentan las divisorias y vaguadas, son normales á las curvas á nivel.

2.º TRAZADO DE UNA LÍNEA DE PENDIENTE DADA.—Para trazar desde b' á la curva inmediata una recta de pendiente conocida, $\frac{1}{m}$, basta observar que $\frac{1}{m} = \frac{ac}{a'b'}$, y, por tanto, $a'b' = ac \times m$, puede hallarse por una cuarta proporcional. El problema tendrá dos soluciones, una ó ninguna, según que la inclinación dada sea menor, igual ó mayor que la máxima en el punto que se considera.

3.º INTERCALACIÓN DE CURVAS.—Como se supone que entre dos consecutivas es uniforme la inclinación á lo largo de una recta cualquiera, no hay más que trazar suficiente número de líneas de máxima pendiente, dividir las en segmentos que guarden entre sí la misma relación que las distancias que hayan de separar á las curvas, y unir con trazos continuos los puntos de división correspondientes.

4.º TRAZADO DE UNA LÍNEA QUEBRADA DE INCLINACIÓN CONSTANTE.—Si la pendiente es $\frac{1}{m}$ y d el punto de partida, se irán trazando las rectas de , ef , fg , gh , etc., como en el problema segundo. Siempre que $\frac{1}{m}$ sea menor que la inclinación máxima entre dos curvas, podrán seguirse dos caminos desde cada punto: así, de f cabe marchar hacia g ó g' ; de g' á h' ó h'' , etc. En ciertas direcciones se irá, por tanto, sin revueltas, que no se evitarán en otras. Si $\frac{1}{m}$ excediere, en alguna parte del trayecto, de la inclinación máxima del terreno, sería preciso suavizar la pendiente.

5.º ENLACE DE DOS PUNTOS POR UNA LÍNEA QUEBRADA DE INCLINACIÓN CONSTANTE.—Supóngase que los puntos sean d y x : desde el primero se traza, como acaba de decirse, la línea drk con la pendiente dada; desde el segundo, la $xlmn$, con idéntica condición. Ambas se cortan en p , y es claro que $drpmlx$ será una de las muchas soluciones que admite el problema, entre las que convendrá escoger la que menos recodos presente.

6.º DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE CONSTANTE CON QUE SE PUEDEN UNIR DOS PUNTOS SIN EMPLEAR REVUELTAS.—Su-

póngase que q y z (fig. 86.^a) sean los dos puntos: á simple vista se aprecia la pendiente aproximada con que se puede bajar, y desde q se traza la línea qs , como se dijo en el problema cuarto, la cual deja á su derecha el punto z , lo que prueba que la inclinación elegida es demasiado pequeña. Se traza otra línea qt con pendiente mayor, que podrá ser excesiva, y se hacen nuevos ensayos si se juzga oportuno. Dibujando después una curva cuyas abscisas sean las pendientes, y zs , zt , etc., las ordenadas, cuidando de tomar éstas en diferente sentido, según correspondan á líneas de mayor ó menor inclinación que la que se busca, claro es que la medida de esta última será la abscisa en el origen de la curva.

II.—ESTUDIO DE LA TRAZA.

Se supondrá sucesivamente, como en todo lo que antecede, que el estudio se haga partiendo de la representación por una base y perfiles transversales ó por curvas á nivel.

ESTUDIO SOBRE UNA BASE Y PERFILES TRANSVERSALES.

Con arreglo á cuanto se ha expuesto, se tendrá la representación de la base en planta y perfil y los dibujos de todas las secciones transversales que se hayan tomado.

Estudio del trazado horizontal.—La base debe haberse escogido de suerte que se aproxime lo más posible al eje definitivo del camino, ó más bien á la línea quebrada que por sus intersecciones mutuas formen las alineaciones rectas de aquél. Pero, aun cuando se haya logrado tal resultado, á lo que mucho ayuda la práctica, hay que modificar el eje, reemplazándolo con una línea mixta, que se obtiene trazando curvas (circulares ó parabólicas, de ordinario), tangentes á cada dos rectas sucesivas de la base de operaciones. Por los motivos que se expusieron en el artículo IV del capítulo I de esta Sección (pág. 313), conviene para la seguridad del tránsito que las curvas sean bastante abiertas y

que las circulares pasen de 30 metros de radio, aun en países muy quebrados. Evidente es que cuanto más se pliegue la traza al terreno, de menor amplitud serán las curvas y más económica la explanación: las dos consideraciones son, pues, antagónicas, y habrá de atenderse con preferencia á una ú otra, según la importancia ó circulación probable de la vía que se proyecta.

Inspirándose en el criterio que se juzgue deba adoptarse y en vista del relieve del terreno, que se apreciará por el examen de los perfiles longitudinal y transversales, se fijará en cada vértice el radio de la curva que ha de trazarse para unir las dos rectas que en él concurren. No ofrece dificultad el dibujarla; pero es indispensable calcular, por medio de tablas, dos elementos: la longitud de las tangentes y el desarrollo de la línea. Aquélla, porque, aun cuando se haya empleado escala grande, no es posible marcar con exactitud los puntos de tangencia para deducir gráficamente la extensión lineal de las rectas definitivas; el desarrollo de la curva, á fin de conocer con bastante aproximación las distancias totales y parciales entre los puntos diversos de la traza. Los cálculos mencionados se hacen con cualesquiera tablas de las muchas que se han publicado y pueden servir para el objeto: las redactadas por el Ingeniero Jefe, que fué del Cuerpo, D. Juan López del Rivero, son de fácil manejo y merecen entera confianza.

Conócese en ocasiones, á primera vista, que la traza debe separarse de la base, en trayecto más ó menos largo, ya para adaptarse más al terreno, quebrando la línea mayor número de veces, y obteniendo economía en la construcción, aunque se alargue algún tanto el camino; ya, por el contrario, para mejorar el trazado horizontal, reemplazando varias rectas de la base con una sola, por permitirlo, sin grandes dispendios, la topografía de la comarca. En ambos casos se empieza por trazar la nueva base y se procede luego á la determinación de curvas, conforme se ha indicado. Pero generalmente, y sobre todo en terrenos ásperos y pasos difíciles, las variaciones las impone el trazado vertical, á que debe consagrarse atención especialísima.

Estudio del trazado vertical.—PERFILES.—Lo primero que ha de hacerse es modificar el perfil longitudinal y los transversales. Como la base se ha alterado siempre, aunque no sea

más que por las curvas trazadas, es obvio que el perfil longitudinal se tiene que variar: la operación se reduce á tomar, en la línea que represente el plano de comparación, las distancias medidas en la planta, y elevar ordenadas iguales á las cotas de los puntos correspondientes. Es oportuno marcar: 1.º, todos los que sean comunes al perfil nuevo y al primitivo; 2.º, los en que la traza horizontal corte á las secciones transversales; 3.º, los pertenecientes á la salida y entrada de alineaciones curvas. Las cotas no halladas con anterioridad se deducen por los procedimientos que se dieron á conocer en las páginas 352 y 353.

En los perfiles transversales no hay que introducir más cambio que el de sus intersecciones con el eje, cuando aquéllas no coincidan con las ya señaladas. Al efecto, en cada uno de los perfiles se traza una horizontal por el enlace primitivo; se lleva á derecha ó izquierda, según corresponda, la distancia que separe á aquél del nuevo, medida en la planta y con la oportuna reducción de escalas; es claro que el encuentro con la línea del terreno de la vertical del punto así determinado, fijará el que se busca.

TRAZADO DE RASANTES.—Dibujado el perfil longitudinal y determinada la inclinación máxima que se admite para las rasantes, procédese á trazar éstas, ciñéndose en su distribución á los principios que se expusieron en el artículo III del capítulo I de esta Sección (pág. 311). Pero hay que atender además á otra circunstancia del mayor interés: procurar la mayor economía posible en remoción de tierras, siempre que queden debidamente satisfechas las exigencias del tránsito. Se logrará este fin, tratando: 1.º, de que no resulten alturas demasiado grandes para desmontes ni terraplenes; 2.º, de que haya compensación entre los cubos de éstos y aquéllos. Respecto del último punto es preciso entrar en algunos desarrollos.

COMPENSACIÓN.—Los terraplenes se construyen con productos de desmontes ó con tierras de préstamos: fácil es determinar, valiéndose de los procedimientos conocidos, la expresión lineal $a + bx$, que representa el precio de transporte de un metro cúbico á la distancia x , calculando los valores de a y b , que dependen de las condiciones de vehículos y motores, y de los jornales corrientes en el país; tampoco habrá dificultad en presu-

poner el coste C de la cava fuera de la línea y transporte vertical de un metro cúbico de tierra, con inclusión de la parte alícuota que al mismo volumen corresponda de la indemnización que, en concepto de ocupación temporal, deba pagarse al dueño del sacatierras: con estos datos se podrá establecer la distancia límite $\frac{C-a}{b}$ hasta la cual es económico transportar los productos

excavados. Pues bien, la compensación no se refiere á los volúmenes totales de desmontes y terraplenes, sino á aquéllos cuyos centros de gravedad se encuentren bastante próximos para que la conducción de tierras se efectúe en condiciones admisibles, esto es, sin que el recorrido exceda del límite señalado.

Logrando compensación estricta en este sentido, claro es que no habrá que tomar tierras de préstamos para construir terraplenes, ni depositar en caballeros sobrantes de desmontes. Es raro que se realice en absoluto la compensación: el Ingeniero deberá contentarse con que no haya que excavar fuera de la línea volúmenes considerables para emplearlos en terraplenes, y con que el exceso del cubo de desmontes no sea de mucha entidad, á menos que pudiera utilizarse en obras de fábrica ó firme, solución que resulta casi siempre ventajosa, cuando la piedra extraída de las excavaciones reúne circunstancias á propósito.

Compensándose desmontes y terraplenes se obtendrá, por lo común, economía en la explanación; pero, sin embargo, no ha de admitirse el principio en absoluto, como hacen la mayor parte de los autores. El punto de mira ha de ser reducir al mínimo el movimiento de tierras dentro y fuera de la línea, y se concibe que podrá ser más económica una traza que exija remociones muy pequeñas y no compensadas, que otra en que, aumentando los volúmenes, se logre equivalencia de desmontes y terraplenes.

La inspección del perfil longitudinal después de trazar las rasantes, da idea de la cuantía de los movimientos de tierra; pero para apreciarlos mejor deben dibujarse en los perfiles transversales las secciones del camino. Para ello hay que conocer las cotas en el eje, determinación que presupone las de pendientes de rasantes y ordenadas rojas.

PENDIENTES, ORDENADAS Y COTAS ROJAS.—El cálculo de es-

tos elementos es necesario siempre para los trabajos ulteriores.

La pendiente de cada rasante se halla dividiendo la diferencia entre las ordenadas de sus puntos extremos por la distancia horizontal que los separa, magnitudes que se miden gráficamente en el perfil con suficiente aproximación. No hay para qué decir que la suma total de longitudes de rasantes ha de coincidir con el desarrollo en planta.

Las ordenadas rojas ó de rasante se encuentran por medio de simples operaciones aritméticas, conociendo las pendientes y las distancias horizontales entre los puntos del terreno de que se tienen ordenadas negras.

Las cotas rojas ó alturas en el eje de desmontes y terraplenes son las diferencias entre las ordenadas del terreno y de las rasantes: corresponden á los primeros cuando éstas son menores que aquéllas, y á los segundos en caso contrario.

DIBUJO DE SECCIONES TRANSVERSALES.—Basta tomar en la vertical del punto de enlace de cada perfil transversal con la base, una distancia igual á la cota roja, hacia abajo ó arriba, según sea ésta de desmonte ó terraplén; trazar una horizontal por el punto determinado, ó sea por el correspondiente al eje, y construir la sección del camino, dando á los taludes la inclinación que se haya admitido, conforme la naturaleza de los productos excavados ó de los que entren en la composición de terraplenes.

TRAZA DEFINITIVA.—Con los resultados que se obtengan después de practicados todos los trabajos descritos, hay suficiente, en la mayoría de los casos, para juzgar si la traza elegida concilia, en lo posible, la facilidad del tránsito con la economía en la construcción. Si los movimientos de tierra fuesen excesivos, se intentará adaptar más las rasantes al suelo; y de no ser hacedero sin admitir inclinaciones demasiado grandes, se desviará la planta de la traza, en sentido conveniente, que indicarán con perfecta claridad los perfiles transversales. Cuando, por el contrario, se advierta que puede mejorarse el trazado sin que resulte oneroso el establecimiento de la línea, se suavizarán las rasantes, se rectificará la planta ó se acudirá á ambos medios, según aconsejen las circunstancias particulares de cada caso.

Pasos difíciles.—Ya se ha dicho (pág. 352) que conviene

estudiarlos con mucha detención, empleando al efecto en los dibujos escalas grandes, que suelen variar de $\frac{1}{400}$ á $\frac{1}{1200}$. En ocasiones se adquiere pronto certidumbre de la solución más adecuada; en otras no bastan las operaciones reseñadas en los párrafos que preceden, y es forzoso hacer un avance de cubicación de movimientos de tierra en las dos ó más trazas que hayan de discutirse, y aun redactar por completo los proyectos respectivos, á fin de compararlos, con sujeción á los principios que se sentaron en el capítulo II de esta Sección (págs. 320 y 321).

TRAVESÍAS DE PUEBLOS.—Entre los pasos que deben estudiarse con particular esmero se cuentan los correspondientes á travesías de pueblos, no sólo por la influencia que es razonable conceder á los intereses locales, sino á causa del coste elevado que suelen alcanzar por el precio relativamente grande de los terrenos ocupados, sobre todo si es necesario expropiar fincas urbanas de valor.

La primera cuestión que, por lo general, se presenta, es decidir si la carretera se ha de trazar por dentro ó por fuera de la población. Sin prejuzgarla, no puede menos de reconocerse que el segundo sistema es casi siempre favorable para reducir los gastos de construcción y conservación, hasta el punto de que nunca conviene omitir su estudio; pero no cabe resolver definitivamente el problema, sin tener en cuenta las condiciones de la localidad y las necesidades que el camino está llamado á satisfacer.

Aun después de decidirse por uno de los dos procedimientos, es común presentar diferentes soluciones, que reclaman tanteos prolijos y comparaciones detalladas. Como es lógico, no se aprueba por el Gobierno la traza definitiva sin oír á los pueblos, á tenor de lo que preceptúan la ley de 11 de Abril de 1849 y el Reglamento para su ejecución. El proyecto de trazado se expone al público por treinta días, en el pueblo correspondiente, plazo durante el cual presentan los vecinos las reclamaciones que juzguen oportunas, y en vista de todo el expediente y de los informes del Ayuntamiento, Diputación provincial, Ingeniero Jefe, Gobernador y Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos, resuelve el Gobierno.

ESTUDIO SOBRE CURVAS Á NIVEL.

Procedimiento general.—Cuando se ha representado por curvas á nivel la zona elegida en los reconocimientos, los tanteos necesarios para determinar la traza más á propósito ó las que deban compararse, se hacen con extremada sencillez, ganando con exceso, en la mayoría de los casos, el tiempo que se invierte en el gabinete en las operaciones minuciosas que reclama la formación del plano.

Fijadas ya en el terreno las posiciones de las obras de fábrica importantes, y deducidas sus magnitudes en vista de los antecedentes que se hayan recogido, la inspección del dibujo basta para adquirir cabal idea de los obstáculos que presenten los pasos de divisorias, y en una palabra, para reducir el problema á otros más sencillos, en que sólo se tratará de enlazar dos puntos consecutivos de los que se consideren como obligados.

Los tanteos que tienen por objeto reconocer si una ladera ofrece suficiente desarrollo para efectuar su descenso con inclinación determinada y sin revueltas; el estudio de éstas, cuando se juzgue oportuno admitirlas; el de la pendiente con que se consigue faldear una estribación; las soluciones posibles en los gollizos de los valles; las que procede comparar en las travesías de los pueblos, etc., etc., son cuestiones que sólo requieren la aplicación de procedimientos tan rápidos y expeditos como los que se han reseñado en las páginas 353 á 355. Los tanteos deben hacerse al principio á grandes tiradas, ciñéndose no más que á las principales inflexiones: cuando se llegue á una solución que se conceptúe admisible, se procede á modificar la traza, adaptándola cuanto se quiera al suelo, lo que se logra sin vacilaciones, puesto que las curvas acusan con claridad los pliegues más insignificantes.

No debe olvidarse en estos ensayos que, por regla general, al ceñir la línea al terreno, aumentará su longitud respecto á la de los primeros tanteos, rebajándose, en consecuencia, la inclinación media de las rasantes, y que, en cambio, al encajar las curvas de enlace, disminuye el desarrollo y suben las pendientes.

El polígono trazado en el plano reemplaza á la base, sobre que se operaba en el método anterior. La elección y cálculo de curvas se llevan á cabo de igual manera: constrúyese desde luego el perfil longitudinal correspondiente; se estudian las rasantes; si es preciso modificar la planta, las líneas á nivel indican el sentido en que ha de hacerse, con mayor claridad que los perfiles transversales; por último, se dibujan éstos y las secciones del camino á las distancias y en la extensión que convenga. Así se logrará reunir todos los elementos de la traza admitida ó de las que deban someterse á comparaciones más ó menos detalladas.

Ejemplo.—La figura 87.^a representa, en escala de $1/4,000$, un terreno quebrado definido por curvas á nivel á 10 metros de equidistancia. La topografía de la zona se abarca fácilmente: un río y varios afluentes, de los cuales uno de la margen derecha tiene alguna importancia; las dos laderas que limitan el valle, tendida la de la izquierda, en la que se asienta un pueblo, y abrupta la opuesta, sobre todo en la región de agua-abajo; por último, la divisoria principal, que aparece marcada con línea de trazos. Se supone que una carretera llega al punto *A*, en la dirección *MA*, y que se trate de unir aquél con el collado *B* para continuar después hacia *N*. Si en el campo se ha reconocido que el río se puede pasar en buenas condiciones, por *P* con un puente de 20 metros de altura y 50 de longitud, ó por *Q* con otro de 10 y 80, se podrán efectuar tanteos en ambas direcciones, conociendo la pendiente máxima admisible, que se fijará en 0,05. Adviértase que no hay que pensar en seguir la traza del camino antiguo, que ofrece inclinaciones muy fuertes y revueltas pronunciadas, por la tendencia, tan generalizada hasta hace poco tiempo, de sacrificarlo todo á no desviarse mucho de la dirección marcada por los puntos extremos.

En la figura se señalan tres trazados, dos de los cuales efectúan el paso del río por *P* y el tercero por *Q*. Las líneas quebradas son los resultados de los primeros tanteos: habría luego que ceñir más la traza é introducir las curvas.

Primer trazado.—Desde *A* contornea el pueblo hasta *a*; baja al río, y ya en la otra margen y á la altura de 20 metros sobre el cauce, se apoya en la ladera, subiendo constantemente hasta *B*,

por la línea $bcdB$, con las inflexiones indispensables para no rebasar la pendiente máxima. Con el doble decímetro y las cotas de curvas se comprueba con facilidad que el desarrollo es de 2.720 metros, y la inclinación, siempre de 0,05, tanto en la bajada de A á P como en la subida de b á B . Adviértese además que en el trozo bcd , de unos 1.100 metros de longitud, la ladera presenta gran declive transversal que obligará á construir largas líneas de muros de sostenimiento.

Segundo trazado.—El descenso hasta b se verifica como antes; pero desde b se dirige por $bfgghijkB$ á B , buscando con recovecos el desarrollo necesario para desviarse lo menos posible de la dirección N. S., en que aproximadamente se hallan los extremos b y B . Á pesar de esto, las revueltas ocasionan aumento de longitud respecto de la traza primera, pues llega aquélla á 2.970 metros. En cambio, el terreno es mucho mejor, y un tramo de 430 metros, el kB , no tiene más inclinación que 0,023, suponiendo que el collado k se atravesase en desmante de unos 10 metros de cota; todos los demás, ó sean 2.540 metros, están al 5 por 100. En suma, bajo los aspectos de construcción y pendientes, parece preferible esta solución.

Tercer trazado.—Desde A va á pasar el río por Q , á 10 metros de altura, siguiendo la dirección AQ con pendiente de 0,05. Ya en la otra orilla, marcha á salvar en R el arroyo principal por un puente de 10 metros de altura y 20 de largo, continuando hacia m y empalmando en j con la segunda traza. La longitud total es de 3.030 metros; el terreno de buenas condiciones, y las pendientes de 0,05 en la bajada y en el tramo mk de la subida, de 0,03 en el Qm y de 0,023 en el kB . Tanto por la traza vertical como por la horizontal, es probable que la solución indicada sea la conveniente, á pesar de su mayor longitud, sobre todo si la carretera ha de estar sometida á tráfico de alguna entidad. Sin embargo, antes de decidirse, sería conveniente estudiar con detalle las rasantes y hasta hacer un avance de presupuestos de las tres trazas para compararlas por los métodos conocidos.

III.—REDACCIÓN DEL PROYECTO.

Elegido definitivamente el trazado, si se quiere proceder con todo rigor, debe volverse al campo y replantearlo, á fin de adquirir completa confianza respecto de su exactitud, y aun introducir las variantes que aconseje la inspección detenida de la localidad. Este procedimiento, indispensable cuando se ha de contratar la construcción por tanto alzado, se sigue en realidad en España, pues las disposiciones vigentes preceptúan que se replantee la línea antes de subastar las obras.

En ciertas ocasiones se estudia detenidamente la traza en el campo mismo, efectuando cuantos tanteos sean necesarios para dejar señaladas las alineaciones rectas y curvas del eje, dibujando á la vez el perfil longitudinal definitivo y estableciendo en él las rasantes. En tal caso, los trabajos de gabinete se simplifican muchísimo, pero á costa de prolongar los de campo.

De todos modos, y sea cual fuere el sistema que se adopte, nunca se recomendará bastante á los Ingenieros el estudio concienzudo de los proyectos, cuyas deficiencias suelen dar lugar á cuestiones enojosas con los contratistas, y á reformas y presupuestos adicionales que, sobre gravar los gastos, hacen imposible la ordenada prosecución de las obras. En ciertos casos son imputables estos hechos, ya á ligereza del autor del proyecto, ya á haber fiado á subalternos lo que por sí mismo debiera ejecutar.

Fija la traza, se necesita para ultimar el trabajo: 1.º, estudiar las obras de fábrica y accesorias; 2.º, hacer la medición de las unidades de toda especie; 3.º, determinar los precios, y 4.º, redactar el presupuesto y las condiciones para la ejecución.

Brevísimas indicaciones se harán acerca de estos puntos, sin perjuicio de insistir en algunos, al exponer en el capítulo siguiente la forma que se ha de dar á los proyectos, con sujeción á las reglas establecidas.

Proyectos de obras de fábrica y accesorias. — Los proyectos de obras de alguna importancia se forman ateniéndose á los principios que con todo pormenor se estudian en las asigna-

turas de *Construcción general, Puentes y Mecánica aplicada*. Para las demás puede consultarse lo que se ha dicho en los capítulos II y IV de la Sección segunda y en la página 350.

Mediciones.—EXPROPIACIÓN.—Aun cuando es costumbre verificar las expropiaciones directamente por la Administración y con independencia de la contrata de las obras, es conveniente formarse idea de su coste, para lo cual, además de los datos tomados en la localidad (pág. 349), es preciso conocer la superficie dedicada á las diferentes especies de cultivo. Al efecto, se dibuja en el plano la faja ocupada, marcando, á contar del eje y en cada perfil transversal, el semiancho de la plataforma, la arista inferior del terraplén ó superior del desmonte, y la zona de servidumbre. Con estos elementos y la naturaleza de los predios, hay suficientes datos para hallar las áreas respectivas. No es menester gran exactitud en estos trabajos, que sólo tienen por objeto apreciar alzadamente la cuantía de las expropiaciones: al ir á ejecutar las obras es cuando se instruyen los expedientes y se forman los planos parcelarios, con intervención de los terratenientes, ciñéndose á los preceptos de la Ley de 10 de Enero de 1879 y del Reglamento para su ejecución de 13 de Junio del mismo año, cuyo examen no es de este lugar.

EXPLANACIÓN.—Las áreas de los perfiles transversales y las distancias mutuas á que éstos se encuentran, permitirán calcular, por cualquiera de los métodos conocidos, los volúmenes totales de desmontes y terraplenes. Sólo debe advertirse que sería muy inexacto fijar gráficamente los puntos de paso, que deben determinarse por operaciones aritméticas: si c y c' son las cotas rojas de un punto del desmonte y otro del terraplén, entre los que esté comprendido el de tránsito; l la distancia horizontal que los separa, y x la que media entre el primero y el que se busca, es claro que

$$\frac{c}{c'} = \frac{x}{l-x} \quad \text{ó} \quad x = \frac{lc}{c+c'}$$

Las notas tomadas en cada perfil transversal harán posible la clasificación de las excavaciones, debiendo siempre tomar como base, no los caracteres mineralógicos del terreno, sino los medios que hayan de emplearse para atacar los desmontes, que son los que influyen en su coste.

Con arreglo á lo expuesto en las páginas 357 y 358, se distribuirán los productos de las excavaciones, pudiéndose formar cuadros gráficos en que tanto aquéllos como la clasificación aparezcan con perfecta claridad. De este modo se agruparán los desmontes en las siguientes categorías:

1.º Excavaciones dentro de la línea empleadas en terraplén, con expresión de las distancias medias de transporte.

2.º Íd. íd. empleadas en otras obras.

3.º Íd. íd. depositadas en caballeros.

4.º Íd. fuera de la línea, ó sean tierras de préstamo.

Si á los datos anteriores se añaden los relativos á cunetas de diversas magnitudes que hayan de abrirse, y á las superficies de taludes que deban refinarse, se tendrán los elementos necesarios para presuponer las obras de tierra, conocidos que sean los precios unitarios.

OBRAS DE FÁBRICA Y ACCESORIAS.—Nada hay que decir sobre la manera de cubicarlas; pero conviene hacer ligeras advertencias respecto á las ajustadas á modelos oficiales.

En las colecciones constan la cubicación de los frentes, en la extensión de un metro lineal por cada lado, y la de un metro corriente de los diversos tipos de tajeas, alcantarillas y pontones (pág. 66); mas como no aparecen ni podían aparecer los datos relativos á cimientos, es indispensable agregarlos. La valoración se practica, como luego se verá, sin que preceda la determinación de los cubos totales.

También es preciso, cuando se adopten los modelos aprobados para casillas de peones camineros, no olvidar hacer el estudio y medición de sus cimentaciones, con arreglo á las circunstancias que concurran en cada caso.

AFIRMADO.—Conocida su anchura, el bombeo y el espesor que se admita para cada capa, si de varias hubiere de componerse, se podrá dibujar el perfil transversal, señalando en él las distintas fajas, cuyas superficies serán iguales á los volúmenes correspondientes de firme por metro lineal. Fácil es determinar (págs. 97 á 99) las cantidades de materiales que se necesitan para obtener las dimensiones requeridas, después de la consolidación.

Precios.—Los de las unidades de obra pueden deducirse por

tres medios: el de *experimentación directa*, el de *comparación* y el de *descomposición en elementos* (1).

El primero se reduce á dividir el costo de la obra por las unidades que ésta contiene, y no es aplicable cuando, como en todo proyecto, se trata de averiguar el precio de cada unidad antes de la construcción.

El de *comparación* es también un medio experimental, que sólo se diferencia del anterior en que sirve de tipo otra obra ya ejecutada, cuyo carácter distintivo ha de ser la identidad de circunstancias con la que se proyecta. Á primera vista parece que los precios pudieran establecerse siempre por ensayos directos, construyendo corto número de unidades de cada especie; pero, además de los gravísimos inconvenientes relativos á personal, tiempo y gasto que el sistema acarrearía en el servicio de Obras públicas, está universalmente reconocido y es fácil demostrar que los precios de experimentos en pequeña escala no coinciden y á veces se separan mucho de los que resultan en la ejecución.

El método de *descomposición en elementos*, llamado con impropiedad *análisis de precios*, consiste en valorar por separado cada una de las operaciones que abarcan las diferentes unidades. Como es imposible en absoluto efectuar la descomposición del trabajo total en sus elementos constitutivos, se conviene, por lo común, en considerar como tales ciertas divisiones, aunque no quepa desconocer que una cualquiera de ellas es resultado complejo de diferentes operaciones. Se deduce, por tanto, que, en esencia, el procedimiento es el mismo de comparación, aplicado, no á la masa de trabajos que constituyen la unidad, sino á los tomados como elementales.

En realidad las garantías de acierto son idénticas, ya se admitan la comparación total ó las parciales, puesto que aquéllas estriban en la existencia y buena elección de obras análogas. Así, por ejemplo, por cualquier sistema que trate de fijarse en Ma-

(1) Las consideraciones que siguen están tomadas del notable escrito elevado en 15 de Enero de 1859 al Ministro de Fomento por el Sr. Uría, Director general de Obras públicas en aquella época, exponiendo los principios adoptados en la redacción de los formularios, que fueron aprobados en 1.º de Marzo siguiente.

drid el precio del metro cúbico de fábrica de ladrillo en muros y tabiques, quedará perfectamente determinado, en atención á las innumerables construcciones ejecutadas, que han permitido depurar los precios de la unidad y de las diversas operaciones que comprende. Y también es notorio que cualquier método de investigación será inseguro, en puntos en que no existan edificaciones de la misma índole, porque ora quiera hacerse la comparación en la unidad compleja, ora en sus componentes, se carecerá de tipos perfectamente conocidos á que referirse. En el primer caso, que es el más general, quizá resulte más sencillo y exacto el paralelo entre precios totales; pero, como se verá en el capítulo siguiente, no se evita efectuar *a posteriori* la valoración de los elementos más importantes, de que no puede prescindirse para los abonos mensuales y los de obras que queden sin terminar, á consecuencia de rescisión de la contrata ó cualquier otra causa.

Presupuesto y condiciones.—PRESUPUESTO.—Medidas las unidades de obra y deducidos los precios respectivos, la valoración es facilísima. Se harán, no obstante, algunas advertencias acerca de los presupuestos de las obras de fábrica ajustadas á modelo. Conocidas la cubicación de los frentes en un metro lineal por cada lado y la del metro corriente, se deducirán los costes, aplicando los precios unitarios que correspondan. Para adaptar estos elementos á cualquier tajea, alcantarilla ó pontón, todo se reduce á determinar la longitud entre sus cabezas, dadas las alturas de la obra y el terraplén y la inclinación de los taludes de éste: si la longitud es de n metros, el presupuesto de la obra se obtendrá sumando el de los frentes con el producto por $n - 2$ del hallado para el metro corriente, y agregando al total el importe de los cimientos. Las operaciones son aún más sencillas en los proyectos de carreteras, porque de ordinario las obras de fábrica llegan á la altura de la rasante y todas tienen longitud igual al ancho de la plataforma: basta, pues, una sola valoración para cada modelo admitido, siempre que no cambien los materiales ni los cimientos, en cada uno de los trozos en que se acostumbra dividir la línea.

No debe olvidarse agregar á los presupuestos de éstas y las demás obras la cantidad prudencial en que se valúen los medios

auxiliares de construcción, á menos que se hayan conglobado en los precios deducidos para las unidades respectivas.

Practicada la valoración de los trabajos proyectados, no faltará sino añadir ciertas cantidades alzadas ó tantos por ciento, que se especificarán en el capítulo que sigue, referentes á gastos que no es posible prever y á beneficio industrial, dirección y administración, etc., para que quede ultimado el presupuesto.

CONDICIONES.—Las que compete redactar al Ingeniero son las *facultativas*, documento de mucha importancia, puesto que de las prescripciones que contenga respecto á requisitos y empleo de materiales y á ejecución de los trabajos, depende el que pueda exigirse en éstos el esmero indispensable para la solidez y buen aspecto de las obras, y para que se realice, como es debido, el fin que se persigue al construirlas. La lectura detenida del modelo que se incluye en los formularios y las ligeras observaciones que sobre él habrán de hacerse, servirán de pauta para la redacción del pliego.

CAPÍTULO VI.

MODO DE PRESENTAR EL PROYECTO.

I.—CONSIDERACIONES GENERALES Y EXAMEN DE FORMULARIOS.

Utilidad de los formularios.—Los proyectos de carreteras de servicio particular no hay precisión de que se ajusten á modelo alguno, y pueden darles los Ingenieros la forma que juzguen más adecuada; pero tratándose de caminos á cargo de las administraciones central, provincial ó municipal, son innegables las ventajas que resultan de ceñirse á métodos uniformes, que sin coartar la libertad de que racionalmente deben gozar los autores, facilitan por todo extremo los trabajos sucesivos. Con efecto, los estudios practicados por los Ingenieros, en lo tocante á obras del Estado, han de examinarlos é informarlos, en primer término, el Ingeniero Jefe de la demarcación, y después la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos: si cada proyecto estuviese redac-

auxiliares de construcción, á menos que se hayan conglobado en los precios deducidos para las unidades respectivas.

Practicada la valoración de los trabajos proyectados, no faltará sino añadir ciertas cantidades alzadas ó tantos por ciento, que se especificarán en el capítulo que sigue, referentes á gastos que no es posible prever y á beneficio industrial, dirección y administración, etc., para que quede ultimado el presupuesto.

CONDICIONES.—Las que compete redactar al Ingeniero son las *facultativas*, documento de mucha importancia, puesto que de las prescripciones que contenga respecto á requisitos y empleo de materiales y á ejecución de los trabajos, depende el que pueda exigirse en éstos el esmero indispensable para la solidez y buen aspecto de las obras, y para que se realice, como es debido, el fin que se persigue al construirlas. La lectura detenida del modelo que se incluye en los formularios y las ligeras observaciones que sobre él habrán de hacerse, servirán de pauta para la redacción del pliego.

CAPÍTULO VI.

MODO DE PRESENTAR EL PROYECTO.

I.—CONSIDERACIONES GENERALES Y EXAMEN DE FORMULARIOS.

Utilidad de los formularios.—Los proyectos de carreteras de servicio particular no hay precisión de que se ajusten á modelo alguno, y pueden darles los Ingenieros la forma que juzguen más adecuada; pero tratándose de caminos á cargo de las administraciones central, provincial ó municipal, son innegables las ventajas que resultan de ceñirse á métodos uniformes, que sin coartar la libertad de que racionalmente deben gozar los autores, facilitan por todo extremo los trabajos sucesivos. Con efecto, los estudios practicados por los Ingenieros, en lo tocante á obras del Estado, han de examinarlos é informarlos, en primer término, el Ingeniero Jefe de la demarcación, y después la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos: si cada proyecto estuviese redac-

tado con arreglo á criterios distintos y en diferentes formas, reclamaría trabajo largo y penoso la tramitación de los numerosísimos expedientes á que dan lugar las obras públicas en las jefaturas de los diversos servicios y en las dependencias centrales. Pero hay más aún: de ordinario transcurre mucho tiempo, casi siempre años, entre la época de redacción de un proyecto y la de su ejecución, de suerte que rara vez se encomienda ésta al autor del estudio; y como es imposible que los puntos de vista de ambos Ingenieros sean idénticos, ni que el encargado de las obras se amolde en absoluto al criterio que informó la presentación de datos, compréndese bien que la falta de uniformidad entrañaría graves perjuicios á los intereses públicos y de los contratistas, dando margen á continuas y enojosas polémicas, que no escasean, sin embargo, á pesar de los reiterados esfuerzos que hace la Administración para evitarlas.

Las consideraciones expuestas bastan á justificar la conveniencia de que los proyectos se presenten arreglados á formularios aprobados previamente por la Superioridad, y en consonancia con el sistema que se siga para la ejecución de las obras.

Sistema seguido en España. — La inmensa mayoría de las carreteras se construyen en España *por contrata*, reservándose el sistema de *administración* para aquellas obras cuya entidad no puede apreciarse aproximadamente de antemano, como ciertas reparaciones, ó las que exijan extraordinario esmero y vigilancia incesante, cual ocurre en cimientos difíciles, algunos trabajos de saneamiento, etc. Las contratas pueden efectuarse *por serie de precios*, *unidades de obra* ó *tanto alzado*, no siendo éste lugar á propósito para discutir las ventajas é inconvenientes en el servicio de Obras públicas de cada uno de dichos medios de ejecución. Sólo necesita consignarse que el admitido por la Administración es el de unidades, que consiste en abonar al contratista, á los precios convenidos, el número de aquéllas que realmente construya, sea mayor ó menor que el presupuesto. Dos advertencias deben hacerse: 1.^ª Como cada unidad de obra abarca varios trabajos elementales, es claro que, á medida que se formen unidades más complejas, el método se irá acercando al de tanto alzado; observación de interés, pues, como muy pronto se verá, tal es el camino que se va si-

guiendo en España, aunque con la prudencia que reclama asunto tan delicado. 2.^o Es forzoso, á menos de causar lesiones á una de las partes contratantes, estudiar los proyectos con tanta mayor escrupulosidad cuanto más trabajos se congloben para constituir unidades de abono: por grande que sea el esmero nunca se logra, sin embargo, deducir con exactitud el número de aquéllas, á consecuencia de la imposibilidad de prever circunstancias que sólo se evidencian durante la ejecución. Á fin de conciliar, hasta cierto punto, la indeterminación de la cantidad de obra de cada especie con los intereses del contratista, cuyos cálculos al licitar tienen que basarse en los datos del presupuesto, establecen las condiciones generales de 11 de Junio de 1886, en su art. 49.^o (1), el derecho á la rescisión, siempre que, á causa de modificaciones, se altere la valoración de las obras en más de $\frac{1}{3}$ de su importe, sea por exceso ó defecto. Las condiciones generales de 10 de Julio de 1861, que antes rigieron, fijaban en $\frac{1}{6}$ la parte alcuota indicada.

Formularios para la redacción de proyectos de carreteras.—Después de ensayos infructuosos, hechos en 1846 y 1855, con modelos aprobados por el Gobierno, que pecaban de prolijos en algunos puntos y de deficientes en otros, se han aplicado sucesivamente en España: 1.^o, los formularios de 1.^o de Marzo de 1859; 2.^o, los mismos, con las variaciones introducidas en 25 de Febrero de 1863; 3.^o, los de 12 de igual mes de 1878, y 4.^o, los de 26 de Junio de 1886, vigentes en la actualidad. Se dará idea de los principios cardinales á que obedeció la redacción de cada uno de ellos.

FORMULARIOS DE 1859.—Admitiase para la medición y abono de los movimientos de tierra: 1.^o, clasificación de los desmontes de dentro de la línea; 2.^o, distribución de los productos, pagando aparte los transportes necesarios para su empleo en terraplenes ú otras obras ó su colocación en caballeros; 3.^o, abono de las excavaciones hechas en zanjas de préstamo. Como se ve, no se fijaba precio alguno especial para el metro cúbico de terraplén, que indirectamente resultaba valorado al pagar la cava y conducción de los materiales.

(1) Véanse las *Condiciones generales* insertas en el Apéndice número 1.

Los precios de las diversas unidades de obras de albañilería, cantería, madera, hierro, etc., constaban de dos sumandos: 1.º, costo del *transporte del material principal*, es decir, de aquél que más influye en el precio de la fábrica, pero segregando los gastos no proporcionales á la distancia, esto es, la carga, descarga y tiempo perdido: 2.º, costo del *resto de la obra*, ó sea de los elementos que acaban de especificarse; del arranque, preparación y empleo de los materiales, y de cuantas operaciones fuesen necesarias para dejar ultimada la fábrica.

El firme se descomponía para su abono en varias partidas: piedra machacada al tamaño de primera ó segunda capa, puesta al pie de obra; recebo; arreglo y extensión en caja de los materiales, y consolidación.

Lo expuesto basta para que se comprenda el cúmulo de cuestiones á que se prestaría la determinación intervenida por los contratistas de puntos tan difíciles de precisar, como clasificación de desmontes, distribución más económica de los productos de las excavaciones, procedencia de materiales, fijación de los caminos para su transporte y de las distancias medias recorridas, etc. Á evitar tales inconvenientes y á simplificar, por tanto, la ejecución y liquidación de los trabajos, se han encaminado los preceptos de los formularios de 1878 y 1886, muy especialmente los de estos últimos.

MODIFICACIONES DE 1863.—Admitidos los fundamentos de los formularios de 1859, es justo reconocer que estaban muy bien estudiados, presentándose los datos con claridad y sin pormenores inútiles. No obstante, la práctica hizo ver que se tropezaba con graves dificultades para la liquidación de obras no terminadas á causa de rescisión, pues en los documentos de contrata no quedaba rastro de descomposición de precios. Para subsanar esta falta y alguna otra de escaso interés, se introdujeron en 1863 ciertas innovaciones: la más esencial de ellas fué disponer que al cuadro de precios acompañase un apéndice, comprensivo de las principales cantidades que constituían las asignadas al *resto de la obra*, como arranque ó adquisición de materiales; desbaste ó preparación; carga, descarga y tiempo perdido; labra; asiento ó empleo en obra, etc.

FORMULARIOS DE 1878.—Respecto de explanaciones, se conservaba el criterio de clasificarlas para su abono, pero especificando que los cinco grupos de terrenos (*tierra franca, tierra dura, tránsito de tierra á roca, roca floja y roca dura*) se habían de definir, no por caracteres mineralógicos, sino por la resistencia que presentarán á la cava. Algo se remediaba el defecto de los formularios anteriores; mas aun quedaba ancho campo á reclamaciones de los contratistas y á desacuerdo entre los Ingenieros.

La cuestión de distribución de productos se resolvía casi de raíz, dejando en libertad al contratista de hacer la que creyera oportuna, con la restricción de someterse á las órdenes del Ingeniero en lo relativo á aprovechamiento de materiales procedentes de las excavaciones para obras distintas de las de explanación (artículos 17.^o y 20.^o del modelo de condiciones facultativas, inserto en los mismos formularios). Los terraplenes se abonaban siempre á cantidad constante por metro cúbico, fuese cualquiera el punto de extracción de las tierras. Claro es que para fijar el precio único, el autor del proyecto tenía que hacer la distribución teórica de productos, pero sin más objeto que justificar el precio, y no formaba parte de los documentos de contrata.

En obras de albañilería, cantería y firme no se variaba en esencia el procedimiento hasta entonces seguido para su abono; es decir, que se pagaba el transporte con arrego á la distancia media á que los materiales principales habían de conducirse. Procurábase aminorar los inconvenientes, estableciendo la presentación de una relación gráfica, en que se puntualizasen los sitios de extracción, la dirección general de los caminos y las distancias á la línea, y la de un anexo á las condiciones facultativas, que venía á ser resumen de las indicaciones del dibujo. Las maderas, hierros y materiales análogos se pagaban á los precios establecidos, sin expresar concretamente las longitudes de los trayectos que habían de recorrer.

Con objeto de evitar peticiones exageradas de contratistas, se prevenía, entre otras cosas, que en los precios de desmonte en cada clase de terrenos habían de incluirse la tala, corte y descuaje de monte y raíces, y se asignaba en el presupuesto partida alzada, en concepto de daños y perjuicios por el tránsito en algunas

partes de la carretera en construcción, y por habilitación de caminos provisionales para el paso del público.

En conclusión, los formularios de 1878 realizaron el adelanto de suprimir la distribución obligatoria de productos de los desmontes; facilitaron algo, aunque no mucho, las clasificaciones de terrenos y abono de transportes, y simplificaron la gestión de las obras, conglobando en los precios unitarios ó presuponiendo alzadamente elementos difíciles de apreciar y origen, por tanto, de litigios.

Por lo demás, no merecen elogios: su redacción fué harto descuidada y estaban plagados de errores, algunos fundamentales. Entre estos últimos bastará citar el de prevenir en el art. 51.º del modelo de condiciones, y más explícitamente aún en la nota 8.ª de las que encabezaban el cuadro de precios, que en los de transporte se incluían los gastos ocasionados por carga, descarga y tiempo perdido. De ser así, no cabe duda de que se pagarían aquéllos tantas veces como kilómetros de recorrido tuviesen los materiales, puesto que los precios de transporte se refieren siempre al metro cúbico conducido á la unidad de distancia.

FORMULARIOS DE 1886.—Las reformas introducidas son esenciales y resuelven casi todas las dificultades administrativas que se han reseñado. Como atinadamente manifestaba el Ministro de Fomento en la exposición que precedía al Real decreto de 11 de Junio de 1886, por el que se aprobó el nuevo pliego de condiciones generales para las contrataciones de obras públicas, no trataba de establecer el sistema de tanto alzado, que exigiría cambio repentino en la marcha de la Administración, sino, por el contrario, de conservar el principio de unidades de obra, pero asignando previamente á cada una precio invariable, cualesquiera que fuesen la naturaleza de los terrenos y procedencia de los materiales, dejando á los contratistas en libertad de adquirir aquéllos donde les convenga y de organizar los trabajos conforme á su interés y no al propósito de la Administración. Consiguiese así excluir del contrato cuanto depende del criterio individual, cortando de raíz el mayor número de reclamaciones de dudosa resolución, simplificando á la vez la inspección del Gobierno y haciéndola más eficaz, pues ha de limitarse á examinar si la obra contratada se constru-

ye con estricta sujeción á las condiciones, y á medirla después de terminada. En suma, el sistema, conservando las principales ventajas del tanto alzado, tiene mucha más flexibilidad y puede servir para llegar á él sin perturbaciones en la marcha de un ramo importantísimo de la Administración.

Por otra parte, el procedimiento, según hacía también notar el Ministro, no es inusitado en España, pues de ordinario lo practican las empresas particulares y hasta el mismo Gobierno en aquellas obras que, por los fines á que se destinan, reciben el nombre de *construcciones civiles*.

En corroboración de lo expuesto, se admite en los formularios vigentes:

1.º Un precio único para los desmontes y otro para los terraplenes, en cada uno de los trozos en que se divide la línea proyectada.

2.º Libertad absoluta del contratista para extraer ó adquirir los materiales en los sitios que considere más convenientes, siempre que satisfagan á todos los requisitos que se establezcan respecto á calidad, forma, dimensiones, etc.

3.º Precio único para cada unidad de obra terminada, en el cual va implícitamente comprendido el transporte.

4.º Aplicación del principio anterior al afirmado, que se paga por metro lineal concluído y consolidado. En el caso frecuente de que después de la compresión no resulte con las dimensiones exactas que estipulen las condiciones, ó cuando por cualquier circunstancia se crea oportuno modificar la sección transversal, previénese que se varíe el precio del metro corriente, en la misma relación que se haya alterado aquélla.

5.º Abono por partidas alzadas de los conceptos siguientes: *a*, daños y perjuicios por tránsito inevitable en algunas partes de la carretera en construcción, y habilitación ó ejecución de caminos provisionales para paso del público; *b*, conservación de obras de tierra y fábrica y extracción de escombros durante el plazo de garantía, es decir, en el período que media entre las recepciones provisional y definitiva, durante el cual son de cuenta del contratista todos los gastos de conservación y reparos.

Merced á estas disposiciones y á otras muchas de detalle, que

clara y ordenadamente se desenvuelven en los formularios, se consiguen ventajas notorias para la construcción y liquidación de las obras contratadas. Pero no se olvide que precisamente la causa determinante de tales resultados, la agrupación de trabajos elementales, impone mucho mayor cuidado al redactar el proyecto: los errores, fáciles de subsanar en su mayoría, cuando se empleaban los modelos de 1859, sin detrimento de los intereses del Estado ni del contratista, son casi siempre irremediables con el sistema actual. El Ingeniero, para fijar los precios unitarios, tiene que consagrar atención especialísima á la clasificación de terrenos, distribución de productos, transportes que requerirán los materiales desde los sitios de que razonablemente deben extraerse ó adquirirse, caminos provisionales que habrán de abrirse ó habilitarse, etc., etc. Sin estudiar con detención todos estos asuntos y otros varios que no es necesario especificar, imposible será llegar á precios medios aceptables y que no resulten lesivos para alguna de las partes.

Los precios totales hay que descomponerlos para los abonos mensuales y en la previsión de que se rescinda la contrata; pero los materiales se valoran siempre al pie de obra, es decir, que nunca se abonan por separado los transportes.

Documentos que ha de contener un proyecto.—La lectura de lo que antecede habrá hecho comprender que de los documentos de un proyecto, unos tienen por objeto explicar y justificar la resolución técnica y administrativa del problema, así como el número de unidades de cada obra y los precios respectivos que se les aplica, al paso que otros se encaminan á describir con detalle todos los trabajos que se proponen y los requisitos á que éstos y los materiales han de satisfacer, y á dejar bien establecidos los precios y valoraciones.

Según todos los formularios que han regido en España, los documentos que ha de comprender el proyecto de una carretera son los siguientes:

- 1.º Memoria.
- 2.º Planos.
- 3.º Pliego de condiciones facultativas.
- 4.º Presupuesto.

Los formularios de 1878 hacían mención de un documento más: el informe del Ingeniero Jefe; pero en realidad no forma parte integrante del proyecto y hasta debe desaparecer, en el caso no extraordinario de que aquel Ingeniero sea el autor de los estudios.

MEMORIA.—Es el documento justificativo destinado exclusivamente á la Administración, del que no hay que dar conocimiento oficial al contratista, al cual no se le admite reclamación alguna que se funde en indicaciones que sobre las obras, sus precios y demás circunstancias del proyecto se hagan en la memoria. (Artículo 41.º de las condiciones generales.)

Este documento, contrayendo su examen, así como el de los demás, á lo que se preceptúa en los formularios vigentes, se divide en dos partes: conságrase la primera á *consideraciones relativas al proyecto en general*, y la segunda á la *descripción del mismo*.

Entre las consideraciones generales figuran las referentes á la situación de la carretera y á la topografía de la comarca, como bases de la justificación de la traza que se adopte; á la constitución geológica, que tanta influencia tiene en el sólido establecimiento de las construcciones y en los materiales que puedan encontrarse; y á la longitud y dimensiones de las carreteras, trozos en que se divide el proyecto, sistema administrativo que convenga admitir para la ejecución, orden de preferencia que debe asignársele y plazo en que sea factible terminar los trabajos, considerada la cuestión desde el punto de vista técnico.

En la descripción detallada se cuidará: 1.º, de razonar la traza en sus proyecciones horizontal y vertical, explicando con minuciosidad las soluciones adoptadas para travesías de pueblos, pasos difíciles y obras importantes; 2.º, de motivar cuantas disposiciones se admitan para cunetas, obras de fábrica, afirmado, manipulación y empleo de argamasa y hormigones, etc., etc.: 3.º, de justificar circunstanciadamente los precios adoptados, exponiendo con la mayor exactitud la clasificación y distribución de tierras; la cubicación de las mismas, de las obras de fábrica y del firme, y los cálculos hechos para la determinación de aquéllos.

Á fin de que la presentación de todos los datos resulte clara y de que se puedan seguir sin confusiones los razonamientos con-

tenidos en las dos partes de la memoria, se anexan planos y cuadros gráficos y escritos referentes á la línea en su conjunto, á las alineaciones y rasantes de cada trozo, á las obras de tierra, á cubricaciones y á precios.

PLANOS.—Este documento y los que siguen constituyen la base de la contrata. Para cada trozo deben dibujarse el plano y perfiles longitudinal y transversales, así como las obras de fábrica especiales, pasos difíciles, travesías de pueblos y secciones de la carretera.

CONDICIONES.—Las que tiénen que observarse son: 1.º, las *generales* para todas las contratas de obras públicas; 2.º, las *facultativas ó especiales* que redacte el autor del proyecto, y 3.º, las *económicas*, que compete fijar al Gobierno.

Las *condiciones generales* vigentes en la actualidad son, como ya se ha dicho, las aprobadas por Real decreto de 11 de Junio de 1886: tienen por objeto establecer principios que se aplican á todas las contratas, y que sobre uniformar la acción administrativa, simplifican muchísimo los requisitos que deben consignarse en cada caso particular. No cabe dentro del programa de este libro la análisis de los importantes preceptos que encierra: á algunos se ha hecho referencia en páginas anteriores, y no estará de más insistir aquí en la modificación más profunda que se ha introducido en la construcción de las obras, que es la de replantearlas antes de la subasta (art. 8.º) Hasta 1886, después de celebrado el contrato, se procedía al replanteo y expropiación de terrenos, apareciendo entonces las deficiencias y errores del proyecto, y con ellos los entorpecimientos en la marcha de los trabajos, las reclamaciones del contratista y la necesidad de redactar presupuestos adicionales que alargaban el plazo de terminación y elevaban el coste calculado para la obra. Con semejante sistema era imposible una buena administración, al paso que ahora los defectos del proyecto no pueden tener tan lamentables consecuencias, porque al advertirlos, el Gobierno no ha contraído todavía compromisos, y se halla en completa libertad para perfeccionar el estudio en el tiempo y forma que estime más convenientes, dilatando la subasta de la obra hasta que, definida y señalada ésta en el terreno, se haya valorado su importe con toda aproximación.

Las razones que preceden, extractadas de las que consignó el Ministro de Fomento en el preámbulo del Real decreto de aprobación de las condiciones, demuestran la transcendencia de la medida.

Si en algún caso especial conviniese que ciertos preceptos no se aplicaran á la ejecución de una obra determinada, basta consignarlo así en las condiciones correspondientes á la misma. (Artículo 7.º)

Las *facultativas* á que ha de sujetarse la ejecución de una carretera, deben comprenderse en los cinco capítulos siguientes:

1.º *Descripción de las obras*, en el que se especificarán las dimensiones y formas de todas ellas, refiriéndose, siempre que sea posible, á los planos, para evitar repeticiones inútiles y quizá desacuerdos; los materiales empleados en las diversas obras de fábrica, y la enumeración de las accesorias.

2.º *Condiciones á que deberán satisfacer los materiales y su mano de obra*, en armonía con los principios del arte de construir.

3.º *Ejecución de las obras*, puntualizando, respecto de la explanación y firme, las bases más importantes que se establecieron en la Sección segunda de este libro, y exponiendo lo concerniente á cimentaciones, á construcción de las fábricas y á las obras especiales que se proyecten.

4.º *Medición y abono de las obras*, en consonancia con los principios que se explicaron en la página 375.

5.º *Disposiciones generales*, relativas á la recepción provisional, que se efectúa al terminar los trabajos; al plazo de garantía, ordinariamente de un año, que media entre aquella y la definitiva; á la conservación en ese período, la cual es de cuenta del contratista; á la piedra para el firme, que deberá estar acopiada al tiempo de recibir definitivamente la carretera; á las obligaciones del contratista en casos no expresados en las condiciones; á los documentos que aquél puede reclamar y á sus relaciones oficiales con los Ingenieros.

Las condiciones *económicas* comprenden, por lo general:

1.º Plazo para otorgar escritura pública, contado desde la fecha de la aprobación del remate.

2.º Importe de la fianza, que ha de consignarse en la Caja

general de Depósitos, antes del otorgamiento de la escritura, en metálico ó efectos de la Deuda pública, al tipo señalado por las disposiciones vigentes (1). Esta fianza suele consistir en el 10 por 100 del presupuesto de contrata para las obras nuevas de carreteras.

3.º Prevención de que no se devolverá la fianza hasta que se apruebe la recepción y liquidación definitiva, y acredite el contratista el pago total de la contribución industrial y de los daños y perjuicios ocasionados (2).

4.º Plazos para dar principio y término á las obras, contándose el primero desde la fecha de aprobación del remate.

5.º Prescripción de que el contratista ha de abonar los gastos ocasionados por el replanteo y toma de datos para la liquidación.

6.º Forma de los pagos, que se reduce á satisfacer mensualmente al contratista el importe de las obras ejecutadas, con arreglo á lo que resulte de las certificaciones expedidas por el Ingeniero; pero con la restricción de que en cada año no podrá percibir más cantidad que la que corresponda á prorrata, teniendo en cuenta el plazo de ejecución y la suma en que se haya adjudicado el servicio. Esto no obsta para que el contratista desarrolle las obras en la escala que le convenga.

PRESUPUESTO.—Consta de los tres capítulos siguientes:

1.º *Cuadros de precios*, entre los que se incluyen los señalados en cada trozo á las unidades de obra completamente terminadas, y los detalles de los mismos, sólo aplicables los últimos á las valoraciones mensuales y á los casos en que por rescisión ú otras circunstancias se tengan que abonar trabajos sin concluir. Recuérd-

(1) El Real decreto de 29 de Agosto de 1876, expedido por el Ministerio de Hacienda, establece que el tipo para la admisión de valores de la Deuda será el medio de la cotización oficial en el mes anterior al en que deba prestarse el afianzamiento. Sin embargo, en las leyes de emisión de valores amortizables se acostumbra consignar que se acepten éstos por su importe nominal.

(2) Los contratistas acreditan el abono de las indemnizaciones de daños y perjuicios con certificados de los Alcaldes de todos los pueblos en cuyos términos se hayan ejecutado trabajos.

dese, sin embargo, que entre los elementos que figuren en la descomposición no ha de aparecer el transporte de materiales, porque éstos no se acreditan nunca como no se hallen al pie de obra.

2.º *Presupuestos parciales*, ó sea de las obras que se repiten muchas veces ó que constan de numerosas partidas que introducirían confusión en el presupuesto general. Deben presuponerse, por tanto, en este capítulo: *a*, las obras de fábrica sujetas á modelo, que se valoran como se indicó en las páginas 368 y 369; *b*, las obras de fábrica no arregladas á modelo, cuyo importe se calcula aplicando los precios unitarios al resultado de la medición; *c*, las casillas de peones camineros; *d*, todas las obras especiales de alguna importancia que se hayan proyectado.

3.º *Presupuesto general*. Sumando los importes de las obras no incluidas en los presupuestos parciales, los de las valoradas en éstos, las partidas alzadas que se expresaron en la página 375 y las que se asignen á ciertas obras accesorias, que se construyen con arreglo á los proyectos que se forman oportunamente (artículo 7.º del modelo de condiciones facultativas), se obtiene la cantidad á que asciende el *presupuesto de ejecución*.

Para formar el *de contrata* hay que agregar á aquél:

a, una partida para *gastos imprevistos*, entendiéndose por tales, no los ocasionados por trabajos que no se tuvieran en cuenta—pues que al contratista se le abona el número de unidades que ejecuta, y si fuere preciso realizar obras de distinta índole que las presupuestas, se determina contradictoriamente el precio unitario (art. 52.º del modelo de condiciones),—sino las pérdidas y accidentes que es imposible apreciar de antemano. Barricas de cemento que no resulta aprovechable por airearse ó mojarse; caballerías ó vehículos que se inutilizan ó estropean; socorros prestados á los operarios que se lesionen ó á las familias de los que fallezcan á consecuencia de la realización de las obras, son ejemplos que aclaran la interpretación que ha de darse al concepto que se examina. Gradúanse los gastos imprevistos en 1 por 100 del presupuesto de ejecución (1).

(1) El tanto por ciento se eleva á 2 en las obras hidráulicas de ríos y canales, y á 3 en las marítimas.

b, gastos de dirección y administración, que se fijan en 5 por 100, y se refieren á los que ha de hacer el contratista para la gestión técnica y económica del negocio.

c, beneficio industrial, que se estima en 9 por 100 del presupuesto de ejecución, incluyendo en dicho guarismo el 3 por 100, como interés del dinero adelantado.

En suma, el presupuesto de contrata es igual al de ejecución, aumentado en 15 por 100.

Proyectos de obras que se ejecuten por administración.—Aunque las obras hayan de ejecutarse por el sistema de administración, el Ingeniero tiene que redactar los cuatro documentos que se han reseñado, á saber: memoria, planos, pliego de condiciones facultativas y presupuesto. Podrá extrañarse que se formulen condiciones; pero obsérvese que, por lo común, el Gobierno no resuelve la manera de realizar las obras hasta aprobar el proyecto correspondiente: por otra parte, aun en el caso de saber *a priori* que los trabajos se han de llevar á cabo por administración, no debe prescindirse de los tres capítulos primeros del pliego, referentes á descripción de las obras, condiciones de los materiales y de su empleo y modo de ejecución, pues que todos esos requisitos han de tenerse presentes al construir las obras y al recibirlas una vez terminadas.

El presupuesto se reduce al de ejecución, aumentado en 1 por 100 para gastos imprevistos, prescindiendo de las partidas que figuran en el de contrata para dirección y administración y beneficio industrial.

II.—OBSERVACIONES DE DETALLE ACERCA DE LOS FORMULARIOS.

Las explicaciones que preceden bastan para la cabal inteligencia de los formularios, que se insertan en el Apéndice núm. 1, y que son reproducción literal de los aprobados, con la única salvedad de haber corregido algunas ligeras erratas, que se deslizaron en la impresión.

El objeto de los renglones que se agregarán es simplemente aclarar algunos puntos que pudieran ofrecer duda y exponer cier-

tas modificaciones que cabe introducir en la presentación, sin faltar al espíritu de los preceptos oficiales, que nunca se han encaminado á anular la iniciativa de los Ingenieros, los cuales, por el contrario, están moralmente obligados á coadyuvar á la mejora y perfeccionamiento de todos los detalles de los servicios que desempeñan. Ni se pretende que los Ingenieros acepten las observaciones que se harán, ni tampoco que sean éstas las únicas pertinentes: al buen juicio de aquéllos corresponde introducir en los documentos, y en especial en los de carácter explicativo, las alteraciones que la práctica les sugiera.

Las advertencias se contraerán á algunos anexos á la memoria, sin perjuicio de exponer brevísimas consideraciones sobre las condiciones y presupuesto.

ANEXOS Á LA MEMORIA.

Estado de alineaciones (núm. 4).—Nada hay que decir respecto á la manera de formar el estado, que resulta inmediatamente de las acotaciones del plano y perfil longitudinal; pero se echa de menos un resumen de alineaciones curvas, que no hay inconveniente alguno en añadir. Pueden constar en él diferentes grupos de radios, especificando el número de arcos que contiene cada uno y las longitudes respectivas, redactándolo así:

RESUMEN DE ALINEACIONES CURVAS.

RADIOS.	Número de alineaciones.	Longitudes. — Metros.
De 30 á 40 metros.....	4	Tantos.
De 41 á 50 ".....	2	Tantos.
De más de 50 metros...	10	Tantos.
<i>Sumas totales.....</i>	16	Tantos.

Procede agrupar todas las curvas de más de 50 metros de radio, porque desde ese límite los arcos carecen de inconvenientes

en las carreteras, según ha acreditado la experiencia y se dijo en la página 316.

Estado de rasantes (núm. 5).—La casilla de *observaciones* se aplica principalmente á designar si la primera ó última rasante se prolongan á los trozos inmediatos, á especificar las que son horizontales, etc.

Perfiles gráficos de la cubicación, clasificación y distribución de las excavaciones (núm. 6).—**PERFIL GRÁFICO NÚM. 1** (Lám. 9.^a).—Se refiere á la cubicación de desmontes y terraplenes y á la clasificación de aquéllos. La representación obedece al principio en que se funda el sistema de cubicar conocido con el nombre de *media de las áreas*, es decir, que el volumen comprendido entre dos perfiles de igual naturaleza, de áreas S y S' y situados á la distancia l , se considera determinado por la expresión $\frac{S+S'}{2}l$, y, por consiguiente, por un trapecio de altura l y cuyas bases paralelas son S y S' . El modo de dibujar el perfil gráfico se explica con claridad en los mismos formularios.

Al estado puede darse otra disposición, quizá más conveniente, porque facilita y aclara el perfil de distribución, de que luego se hablará. En vez de cubicar empleando la fórmula $\frac{S+S'}{2}l$ para cada término, se adopta la $\frac{l+l'}{2}S$, siendo l y l' las distancias del perfil de área S á los dos entre que está comprendido: entonces la representación gráfica es muy sencilla, porque se reduce á un rectángulo. En la línea de tierra se toman á continuación unas de otras las distancias entre perfiles; se levantan perpendiculares en los puntos marcados, de longitudes proporcionales á las áreas de los perfiles correspondientes, considerando como positivas las de desmontes y como negativas las de terraplenes; se señalan en la línea de tierra los puntos de paso, y, por último, desde las intersecciones de las ordenadas se toman á ambos lados magnitudes idénticas á las semidistancias del perfil al más próximo en el mismo sentido ó al punto de paso que se encuentre antes que aquél, con lo cual se tienen los elementos necesarios para trazar los rectángulos, cuyas superficies son equivalentes á los volúmenes sucesivos de desmontes y terraplenes. La figura 93.^a de la lámina

8.^a manifiesta con claridad el procedimiento reseñado: en ella se indica asimismo la clasificación de excavaciones, que se efectúa dividiendo cada ordenada en segmentos que estén en la misma relación que las diferentes clases de terreno en el perfil respectivo, con arreglo á los datos recogidos en el campo, y trazando por los puntos de división horizontales limitadas en los lados del rectángulo correspondiente. Para evitar confusiones debe cuidarse de colocar siempre en el mismo orden las fajas representativas de las diferentes categorías de productos.

No hay para qué indicar que si se admite este sistema de perfil gráfico pueden variarse, como se juzgue oportuno, las indicaciones numéricas de la figura.

PERFIL GRÁFICO NÚM. 2 (lám. 10.^a).—Constan en él la distribución y transporte de tierras: sirve de base para su redacción el perfil gráfico de la lámina 9.^a, relativo á volúmenes de desmontes y terraplenes, y se siguen para dibujarlo las reglas que especifican los formularios. La principal dificultad que ofrece es la determinación geométrica de centros de gravedad, hasta tal punto que, aun á riesgo de cometer inexactitudes, suele hacerse á ojo el señalamiento. Desaparece el inconveniente y se simplifican bastante las operaciones, partiendo de la representación rectangular para los volúmenes, que se dió á conocer en el párrafo anterior. Varios métodos pueden seguirse; pero sólo se explicarán los dos más usados.

Primer método (fig. 94.^a, lám. 8.^a).—Repetida para mayor claridad la figura 93.^a, prescindiendo de las líneas y anotaciones relativas á clasificación, basta examinar los rectángulos que equivalen á desmontes y terraplenes, para deducir qué parte de aquéllos puede emplearse en éstos, con transporte ó sin él; cuál se ha de depositar en caballeros ó apilarse para otras obras, y el volumen que habrá de tomarse de préstamos, puesto que se supone conocida la distancia máxima admisible para los transportes, y que los trayectos medios efectivos se deducen con la mayor sencillez, midiendo la longitud horizontal á que se encuentran las intersecciones de diagonales de cada dos de los rectángulos parciales equivalentes en que se dividen los totales para efectuar la distribución. La inspección de la figura pone de relieve el procedimiento sin necesidad de entrar en pormenores.

Aun puede introducirse sin grave error una simplificación, que consiste en tomar como distancias medias los entreperfiles, en lugar de hallar las que separan á los centros de gravedad.

Segundo método (fig. 95.^a).—Se debe al Sr. Lalanne, Inspector general de Puentes y Calzadas, y es notable por su claridad y elegancia. Prescíndese de los volúmenes de desmonte que se emplean en terraplén en el mismo entreperfil, considerando sólo las diferencias. En la línea de tierra se marcan los puntos correspondientes á perfiles transversales, y se trazan por ellos perpendiculares en que se toman como ordenadas los volúmenes respectivos, que da la figura 93.^a, conviniendo en llevar hacia arriba las que se refieran á desmontes, y en sentido opuesto las otras. Construída la ordenada del perfil núm. 1, se traza por su extremo una horizontal hasta que encuentre á la vertical núm. 2; desde la intersección se toma, en el sentido procedente, la ordenada que corresponda, y se dibuja una horizontal que vaya á cortar á la vertical del perfil núm. 3, y así se continúa, obteniendo una línea quebrada rectangular. La prolongación de las horizontales demuestra, sin género alguno de duda, la manera de distribuir las tierras, pues que dos consecutivas de aquéllas interceptan en las verticales segmentos idénticos, que representan volúmenes equivalentes de desmonte y terraplén. Todo se reduce á ver si las distancias medias, que se consideran iguales, aunque no sea riguroso, á las que separan á los perfiles respectivos, exceden ó no del límite calculado, para fijar los volúmenes que han de conducirse, los que se han de apilar en caballeros y los que se han de sacar de préstamos. En cuanto al cubo de desmontes que se emplea sin trasladarlo longitudinalmente, se deduce restando del total la suma de tierras transportadas y depositadas: claro es que el guarismo ha de resultar idéntico al que se obtiene hallando la diferencia entre el volumen íntegro de terraplenes, y la suma de los que se forman con tierras transportadas y con préstamos.

Observaciones.—En los dos métodos descritos no se tiene en cuenta el aumento de volumen de las tierras excavadas, contra lo que los formularios prescriben. No parece de todo punto necesario fijarse en esa circunstancia, que no introduce alteraciones de entidad sí, como debe hacerse, se miden los terraplenes después de

bien consolidados: por otra parte, la determinación del coeficiente es punto menos que arbitraria en la práctica, y si además se observa que los métodos empleados para cubicaciones, fijación de distancias medias, etc., están lejos de inspirar confianza absoluta, se concibe que son discutibles las ventajas que resulten de complicar las operaciones para alcanzar un grado de exactitud que tendrá mucho más de teórico que de efectivo. Si á pesar de todo no se quiere prescindir del entumecimiento, bastaría en las figuras 94.^a y 95.^a aumentar las ordenadas de desmorte ó reducir las de terraplén en la relación que indique el coeficiente adoptado.

Por último, cuando se admitan las representaciones gráficas de las figuras 93.^a, 94.^a y 95.^a, los Ingenieros deberán estudiar las escalas convenientes para horizontales y verticales y la disposición de las anotaciones, para que el conjunto y los detalles aparezcan con la claridad debida.

Estado de la cubicación del firme (núm. 10).—La fórmula $e = \frac{1}{3}(2c + m)$, que da el espesor medio e , en función de los espesores c y m , en el centro y los mordientes, resulta de suponer limitado el perfil por una curva parabólica, cuyo eje sea perpendicular al del camino. El arco es casi siempre circular; pero aquella hipótesis no causa error apreciable y simplifica notablemente la expresión. Determinado el volumen de cada capa del afirmado por metro lineal, no habrá dificultad en calcular las cantidades de piedra, en grueso y partida, que se necesiten, conociendo los coeficientes que deban aplicarse para valuar las mermas por machaqueo y consolidación.

Cálculo de los precios medios del desmorte y del terraplén (núms. 11 y 12).—Por regla general, convendría adoptar el procedimiento de abonar los refinos por metro lineal, y no conglobarlos en los precios medios de excavación y terraplén. De todos modos, y á fin de que no queden indeterminados la entidad y esmero que han de exigirse en las diversas unidades de obra, no estará de más establecer los requisitos de dichas operaciones: de ordinario, los taludes de los desmontes en roca se desbastan groseramente; y en cuanto á los de tierras, suele limitarse el refino á una faja de un metro de anchura, contado respectiva-

mente desde la arista inferior ó la superior, según se trate de excavaciones ó terraplenes (págs. 41 y 42). La prescripción relativa á terraplenes ya se consigna en el art. 23.º del modelo de condiciones; pero será muy oportuno ampliarlo, para dar cabida á la definición de lo que se entienda por refino de escarpas de desmontes, según la naturaleza del terreno y la extensión á que haya de aplicarse.

Las *indemnizaciones* que incluye el cuadro núm. 11 en la misma partida que los refinados, deben de ser las que hay que abonar á los dueños de las parcelas que se ocupen al apilar las tierras sobrantes: en tal caso, resultará más claro llevar su importe al renglón anterior en que se valoran los depósitos en caballeros.

Presupuesto para conocimiento de la Administración (núm. 16).—Se compone de tres sumandos: 1.º Presupuesto de contrata. 2.º Coste aproximado de las expropiaciones. 3.º Importe de los agotamientos que hayan de hacerse por administración. Los dos últimos conceptos, que se refieren á trabajos que no están á cargo del contratista, no reclaman valoraciones esmeradas, que, por otra parte, sería imposible efectuar *a priori*, razón que justifica el que se segreguen de la contrata.

EXPROPIACIONES.—En la página 365 se indicó el modo de presuponerlas con cierta aproximación. No hay inconveniente en admitir para el documento la forma del cuadro núm. 16; pero será oportuno agregar á la valoración de fincas y de daños y perjuicios el 3 por 100 que previene el art. 36.º de la ley de 10 de Enero de 1879, como precio de afección, y una partida alzada para gastos de instrucción de expedientes.

Algunos Ingenieros opinan que sería mejor que las expropiaciones formasen parte del presupuesto de ejecución, verificándolas el contratista, al que se abonarían á precios convenidos, de igual modo que todas las unidades de obra. El procedimiento tendría sin duda la ventaja de simplificar la gestión administrativa; pero es dudoso que, aun cuando los autores de proyectos consagrasen al asunto especialísima atención, se lograra presuponer el importe de terrenos y de daños y perjuicios con bastante exactitud para no cometer errores de bulto, que diesen á las contratas marcado carácter aleatorio. Quizá fuere oportuno ensayar el sistema

en diversas zonas de la Península, que estuviesen en circunstancias diferentes respecto á naturaleza de cultivos y grado de división de la propiedad.

AGOTAMIENTOS.—Los de escasa importancia se incluyen entre los *medios auxiliares* de ejecución en los presupuestos parciales de las obras de fábrica y no figuran en este cuadro. Pero los que se presume puedan ser de entidad, no se comprenden en la contrata, expresándolo así en las condiciones facultativas. De esta manera se elimina una circunstancia aleatoria; mas para facilitar la prosecución de los trabajos, previene el art. 37.º de las condiciones generales que el contratista lleve á cabo los agotamientos, satisfaciendo cuantos gastos originen, que se le reembolsan sirviendo de justificantes las listas de operarios y los recibos intervenidos por la Administración. Los agotamientos que se encuentran en este caso son los que deben incluirse en el cuadro núm. 16; la fijación de su importe aproximado sólo puede hacerse por comparación con lo que haya ocurrido en obras análogas, y se concibe que á veces la diferencia entre el costo efectivo y el estampado como probable sea de extraordinaria entidad. Á pesar de todo, como al contratista, según dispone el citado art. 37.º, se le ha de pagar el 1 por 100 de las cantidades que gaste, en concepto de interés del dinero adelantado y de remuneración de su trabajo y diligencia, no holgará contar con ese sobreprecio al redactar la valoración alzada.

Justificación de los precios admitidos para unidades de obras de fábrica y firme.—Aun cuando no se impongan al contratista los puntos de procedencia de materiales, es evidente que el Ingeniero ha de estudiar la cuestión con esmero, no sólo para establecer las condiciones que aquéllos han de reunir, sino para valorar los transportes, que constituyen uno de los elementos esenciales de los precios unitarios. Es, por tanto, conveniente que se anexe á la memoria una relación gráfica en que aparezcan los sitios de que se han de conducir los materiales principales de las fábricas, pero sobre todo la piedra y ladrillo; los caminos que tengan que seguir, y las distancias medias recorridas. Al efecto, puede adoptarse la disposición que se daba al dibujo correspondiente en los formularios del año 1878, ó cualquiera otra

que los Ingenieros estimen adecuada. La figura 88.^a de la lámina 7.^a ofrece ejemplo del sistema.

CONDICIONES Y PRESUPUESTO.

Condiciones.—ART. (5).—No procede referirse á los estados de cubicación, que forman parte de los anexos á la memoria, y sí sólo á los planos.

ART. (20).—La última parte de este artículo debiera suprimirse, con arreglo al espíritu de los formularios, pues que el contratista ha de quedar en libertad de distribuir los productos como le acomode. El Ingeniero, al redactar el proyecto, hace la distribución teórica que le sirve de base para fijar los precios únicos de cada unidad de obra; pero el contratista adoptará la que estime más beneficiosa á sus intereses, sin que la Administración intervenga más que para reconocer la calidad de los materiales empleados.

Á lo sumo, procedería especificar que los aprovechables á que deben aplicarse los preceptos del art. 23.^o de las condiciones generales son, no los procedentes de desmontes en la línea, sino los que puedan utilizarse de demoliciones, cuyo volumen no es factible apreciar *a priori*.

ART. (39).—Debe suprimirse si se abonan los refinos por metros lineales.

ART. (43).—Cita *la adquisición* del material entre los elementos que comprende el precio del metro cúbico de madera para cimbras y andamios, en la hipótesis de que después de su uso quede aquella de propiedad del contratista. Es á todas luces una errata, que se ha corregido al transcribir el artículo.

Presupuesto.—CUADRO DE PRECIOS NÚM. I.—Aun cuando se asigne precio único en cada trozo al metro cúbico de desmonte, es equitativo en muchos casos fijar precios especiales para la apertura de zanjas de cimientos de algunas obras de fábrica, que suelen estar en circunstancias muy distintas que las excavaciones corrientes de la línea. Nada parece que se oponga á este

critorio, debiendo advertir que si se adopta deben estamparse los precios correspondientes entre los del art. 2.º

En el art. 1.º se incluirá el de refino de taludes, si el abono se hiciera por metro lineal.

CUADRO DE PRECIOS NÚM. 2.—Para facilitar los abonos de obras no terminadas, sin perjudicar los intereses de ninguna de las dos partes contratantes, parece lógico asignar dos precios al material puesto al pie de obra, en los detalles de precios de unidades que hayan de ejecutarse con piedra de fuera de la línea en unos casos, y con productos de los desmontes en otros. Únicamente en esta circunstancia corresponderá á la Administración tener en cuenta el aprovechamiento de materiales de la explanación en obras de fábrica, firme ó accesorias.

PRESUPUESTOS PARCIALES.—Después de los relativos á obras de fábrica, deben incluirse los de las accesorias que se proyecten desde luego, como casillas de peones camineros, estén ó no arregladas al modelo oficial. Algunas otras, como empedrados de cunetas, guardarruedas, postes indicadores, etc., pudieran tener cabida en los presupuestos parciales; pero es más sencillo asignarles precios unitarios, ampliando el cuadro núm. 1 con un artículo 4.º comprensivo de dichas obras.

FIN.

APÉNDICES.

APÉNDICE NÚM. 1.

Pliego de condiciones generales para la contratación de obras públicas, **Instrucción** para su cumplimiento y **Formularios** para la redacción de los proyectos de carreteras. Aprobados respectivamente por Real decreto de 11 de Junio de 1886 y Reales órdenes de 24 de Agosto y 26 de Junio del mismo año.

PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

PARA LA CONTRATACIÓN DE LAS OBRAS PÚBLICAS.

~~~~~

## CAPÍTULO I.

### DISPOSICIONES GENERALES.

Artículo 1.º Pueden ser contratistas de obras públicas los españoles y extranjeros que se hallen en posesión de sus derechos civiles, con arreglo á las leyes de su respectiva nacionalidad, y las Sociedades y Compañías legalmente constituídas ó reconocidas en España. Quedan exceptuados:

1.º Los que se hallen procesados criminalmente, si hubiese recaído contra ellos auto de prisión.

2.º Los que estuviesen fallidos, ó en suspensión de pagos, ó con sus bienes intervenidos.

Y 3.º Los que estuvieren apremiados como deudores á los caudales públicos en concepto de segundos contribuyentes.

Art. 2.º La persona á quien se haya adjudicado la ejecución de una obra ó servicio para la misma, deberá depositar como fianza la

cantidad que prefije el pliego de condiciones particulares que haya servido de base á la adjudicación. Este depósito se hará en el punto y dentro del plazo que en el mismo pliego de condiciones se designen.

Art. 3.º El plazo señalado en el artículo anterior no excederá de treinta días, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago que acredite la constitución de la fianza á que se refiere el mismo artículo. La falta de presentación dará lugar, sin más trámites, á que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

Art. 4.º Todo contrato de ejecución de obras públicas se elevará á escritura pública, que se extenderá con la cabeza y pie y bajo las formas que prescribe la legislación vigente.

El cuerpo de la misma escritura lo constituirán: un tanto del acta de subasta que haga referencia á la proposición del rematante, ó sea la declarada más ventajosa; la orden de adjudicación; copia literal de la carta de pago que menciona el artículo anterior, y el inserto de una cláusula ó condición que exprese terminantemente que el contratista se obliga al cumplimiento exacto del contrato, conforme á lo prescrito en el presente pliego de condiciones generales, en las particulares, en las facultativas del proyecto, y en los planos y presupuesto. Previamente al otorgamiento de la escritura, el contratista habrá firmado su conformidad al pie de los expresados pliegos de condiciones particulares y facultativas, de los planos y del presupuesto.

Art. 5.º El contratista tiene derecho á sacar copias á su costa de los planos, presupuesto y pliego de condiciones del proyecto. Los Ingenieros, si el contratista lo solicita, autorizarán estas copias después de confrontadas.

Art. 6.º Los contratistas quedan obligados á someterse en la decisión de todas las cuestiones con la Administración que puedan surgir de sus contratos, á las Autoridades y Tribunales administrativos, con arreglo á la ley de Obras públicas, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio.

Art. 7.º Este pliego de condiciones regirá en todo aquello en que no sea modificado por los particulares de cada contrata.

## CAPÍTULO II.

### EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Art. 8.º El Ingeniero ó el encargado de la inspección y vigilancia de las obras, comprobará sobre el terreno, en presencia del contratista,

el trazado y replanteo de las mismas hecho antes de la subasta ó adjudicación, extendiéndose por duplicado una acta que firmarán el Ingeniero y el contratista, en la que se acredite que el replanteo está hecho con arreglo al proyecto aprobado. Á esta acta acompañarán los planos y perfiles longitudinales y transversales que se juzguen necesarios para definir la forma y circunstancias del terreno y de la obra, firmados también por el Ingeniero y el contratista. Uno de los ejemplares del acta se unirá al expediente de la contrata, y el otro se entregará al contratista, remitiéndose copia á la Dirección general.

En el caso de que resulten diferencias entre el proyecto y la comprobación del replanteo, se consignarán en el acta y en los planos y perfiles correspondientes, suspendiendo todo procedimiento hasta la resolución de la Superioridad, á cuyo conocimiento se elevará el asunto inmediatamente.

Los gastos de la comprobación del replanteo general, así como los de hacer los replanteos parciales que exija el curso de las obras, serán de cargo del contratista.

Art. 9.º La adquisición de los terrenos ocupados por la obra es de cargo del Estado; pero el contratista queda en la obligación de pagar su importe, del cual se reintegrará en virtud de certificaciones expedidas por el Ingeniero Jefe de la provincia, con la bonificación de 1 por 100 en razón del anticipo del dinero.

Art. 10.º El contratista dará principio á los trabajos dentro del plazo marcado en las condiciones particulares de su contrata; los desarrollará lo suficiente para que, en los períodos parciales señalados en las mismas, se ejecute la parte correspondiente, y los terminará en el tiempo señalado. En la ejecución se atenderá á lo que resulte de los planos y perfiles del proyecto ó replanteo que hayan sido oficialmente autorizados, á los preceptos de las condiciones facultativas y á las órdenes é instrucciones que se dicten por el Ingeniero ó por los subalternos inmediatamente encargados de la inspección. El contratista podrá exigir siempre que esas instrucciones y órdenes se le den por escrito; circunstancia que será indispensable cuando se trate de aclarar, interpretar ó modificar preceptos de las condiciones facultativas ó indicaciones de los planos. El contratista tendrá, en todo caso, el derecho de acudir en queja de las disposiciones tomadas por los subalternos al Ingeniero, y de las adoptadas por éste al Ingeniero Jefe, los que resolverán, según sus facultades, lo que sea justo y procedente.

Art. 11.º Si por una causa cualquiera independiente de la voluntad del contratista no pudiera éste comenzar las obras en el tiempo

prefijado ó tuviese que suspenderlas, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de su contrato.

Art. 12.º Desde que se dé principio á las obras hasta su recepción definitiva, el contratista ó un representante suyo autorizado deberá residir en un punto próximo á los trabajos, y no podrá ausentarse de él sin ponerlo en conocimiento del Ingeniero, y dejar quien lo substituya para dar disposiciones, hacer pagos, continuar las obras y recibir las órdenes que se comuniquen. Cuando se falte á esta prescripción, serán válidas todas las notificaciones que se le hagan en la Alcaldía del pueblo de su residencia oficial.

Art. 13.º El contratista, por sí ó por medio de sus encargados, acompañará á los Ingenieros en las visitas que hagan á las obras, siempre que éstos lo exijan. Cuídará, asimismo, de que los propietarios y cultivadores de los terrenos colindantes no invadan con las labores la zona acotada para la ejecución de los trabajos, ni depositen en ella materiales de ninguna especie, dando parte inmediatamente al Ingeniero de cualquiera infracción que observare.

Art. 14.º El contratista no podrá recusar á los Ingenieros, Ayudantes ni Sobrestantes encargados de la inspección de las obras, ni exigir que por parte de la Administración se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones. Cuando se crea perjudicado con los resultados de éstas, procederá como queda indicado en el art. 10.º, acudiendo en queja razonada y fundada al Ingeniero Jefe, que ó resolverá ó dará cuenta al Gobierno, pero sin que por esto se interrumpa ni perturbe la marcha de los trabajos.

Art. 15.º El número de operarios y los medios auxiliares necesarios para la ejecución de las obras serán siempre proporcionados á la extensión y naturaleza de las que hayan de ejecutarse; y á fin de que el Ingeniero pueda asegurarse del cumplimiento de esta condición, se le pasará nota de los mismos por el contratista siempre que la reclame.

Art. 16.º El contratista asegurará la vida de los operarios para todos los accidentes que dependan del trabajo ó estén relacionados con él. Se exceptúan los que la Dirección general de Obras públicas califique de imputables al operario lesionado por su ignorancia, negligencia ó temeridad.

El contratista podrá hacer el seguro á que se refiere la condición anterior en la forma que crea conveniente, y bajo su responsabilidad, sobre la base de que en el caso de inutilización del obrero ó de su defunción, percibirá éste ó su familia una cantidad igual al importe de 500 jornales; y en el caso de inutilización temporal, se le abonarán

por el contratista los jornales hasta ocho días después de haber sido dado de alta si no le vuelve á admitir en sus obras, y solamente hasta el alta si vuelve á trabajar en ellas.

Lo dispuesto en esta condición se entiende para el caso de que el operario ó su familia renuncien á toda otra acción por indemnización de daños y perjuicios contra el contratista.

Art. 17.º Por faltas de respeto y obediencia á los Ingenieros y subalternos encargados de la inspección de las obras ó por las que comprometan ó perturben la marcha de los trabajos, el contratista tendrá obligación de despedir á sus dependientes y operarios cuando el Ingeniero lo reclame, sin perjuicio de acudir en queja al Ingeniero Jefe si entendiéndose que no existe fundado motivo para la orden.

Art. 18.º Será de cuenta del contratista indemnizar á los propietarios de todos los daños que se causen con la ejecución de las obras, sea con la explotación de las canteras, con la extracción de tierras para la ejecución de los terraplenes, con la ocupación de los terrenos para formar caballeros y para colocar talleres y materiales, con la habilitación de caminos para el transporte de éstos, y con las demás operaciones que requiera la ejecución de la obra.

El contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, á menos que se convenga amigablemente con los propietarios acerca de la tasación y pago de los perjuicios causados, debiendo en este caso exhibir, cuando fuere requerido, el convenio que con aquéllos hubiese celebrado.

Art. 19.º Los contratistas podrán explotar y extraer los materiales que se encuentren en los terrenos del Estado ó del común de los pueblos sin abonar indemnización de ninguna especie, pero sujetándose á las reglas de policía que se les marquen por los encargados de la administración y vigilancia de dichos terrenos, á los cuales deberán dar aviso anticipado, y respetando ó reponiendo las servidumbres existentes, así como adoptando las medidas oportunas para no perturbar el libre y seguro uso de dichos terrenos.

Art. 20.º No podrá el contratista por sí, bajo ningún pretexto, hacer obra alguna sino con estricta sujeción al proyecto que haya servido de base al contrato, sin que tenga derecho al abono de las obras que ejecutare en contravención á este artículo, á no ser que justifique, presentando la orden escrita del Ingeniero, que éste le ha prevenido llevarlas á cabo; en tal caso le serán de abono con arreglo á los precios de contrata.

Art. 21.º Queda en libertad el contratista de tomar los materiales

de todas clases de aquellos puntos que le parezca conveniente, siempre que reunan las condiciones requeridas en el contrato, estén perfectamente preparados para el objeto á que se apliquen, y sean empleados en las obras conforme á las reglas del arte.

Art. 22.º No se procederá al empleo de los materiales sin que antes sean examinados y aceptados en los términos y forma que prescriba el Ingeniero.

Art. 23.º Cuando las excavaciones produzcan materiales que no utilice el contratista en las obras de su contrata y puedan aprovecharse en cualquiera otra del Estado, tendrá el contratista obligación de apilarlos en los puntos próximos al de extracción y en la forma que prescriba el Ingeniero, siéndole de abono los gastos de apilamiento.

Art. 24.º Cuando los materiales no fueren de buena calidad ó no estuvieren bien preparados, el Ingeniero dará orden al contratista para que los reemplace á su costa con otros arreglados á condiciones. Si lo resistiere, formará aquél una relación de las faltas que tengan y la pasará al contratista, quien á su vez expondrá las razones que le asistan para no conformarse con las disposiciones del Ingeniero, y de todo dará éste cuenta al superior inmediato para la resolución que considere más justa.

Si las circunstancias ó el estado de la obra no permitiesen esperar esta resolución, el Ingeniero tendrá facultad para imponer al contratista el empleo de los materiales que mejor le parezcan, á fin de evitar los daños que pudieran resultar de la paralización de los trabajos; asistiendo al contratista el derecho á la indemnización de los perjuicios que se le hayan causado, en el caso de que la Superioridad no apruebe la determinación tomada por el Ingeniero.

Art. 25.º Hasta que tenga lugar la recepción definitiva, el contratista es exclusivamente responsable de la ejecución de las obras que haya contratado y de las faltas que en las mismas puedan notarse, sin que le sirva de disculpa ni derecho alguno el que el Ingeniero y sus subalternos las hayan examinado y reconocido durante su construcción. En su consecuencia, y cuando los Ingenieros adviertan vicios ó defectos en las construcciones, ya sea en el curso de la ejecución, ya después de concluídas y antes de verificarse dicha recepción definitiva, podrán disponer que las partes defectuosas se demuelan y reconstruyan por el contratista y á su costa. Si el contratista no estimase justa la resolución y se negase á la demolición y reconstrucción ordenadas, se procederá en términos análogos á los expresados en el artículo anterior.

Art. 26.º Si el Ingeniero tuviere fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará en cualquier tiempo, antes de la recepción definitiva, la demolición de las que sean necesarias para reconocer las que suponga defectuosas. Los gastos de demolición y reconstrucción que se ocasionen serán de cuenta del contratista, siempre que los vicios existan realmente; en caso contrario correrán á cargo de la Administración.

Art. 27.º Serán de cuenta y riesgo del contratista los andamiajes, cimbras, aparatos y demás medios auxiliares de la construcción, ateniéndose, sin embargo, á las prevenciones que el Ingeniero crea conveniente hacerle para la mayor seguridad de los operarios.

Todos los medios auxiliares quedarán á beneficio del contratista á la conclusión de las obras, siempre que no se estipule lo contrario en las condiciones particulares, sin que pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios cuando estuvieren detallados en el presupuesto, ó de la partida alzada que en el mismo se les asigne, cualesquiera que unos y otra sean.

Art. 28.º No podrá ponerse inscripción alguna en las obras sin autorización del Gobierno.

Art. 29.º El Gobierno se reserva la propiedad de las antigüedades, objetos de arte y substancias minerales utilizables para la enseñanza pública que se encuentren en las excavaciones y demoliciones. El contratista tendrá la obligación de emplear, para extraerlas, todas las precauciones que se le indiquen por el Ingeniero, salvo el derecho á la indemnización por el gasto que este trabajo le ocasione.

Si en el curso de la ejecución de las obras, y por consecuencia de ellas, apareciesen en la superficie manantiales ó corrientes de agua, serán también propiedad del Gobierno; pero el contratista tendrá el derecho de utilizarlas en la construcción y en el consumo de los operarios durante el tiempo de su contrata.

### CAPÍTULO III.

#### CONDICIONES ECONÓMICAS.

Art. 30.º Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto aprobado ó modificaciones introducidas, ó á órdenes que le hayan sido comunicadas por escrito, siempre que se halle ajustada á los preceptos de las condiciones facultativas, con arre-

glo á las cuales se harán la medición y valoración de las diversas unidades. Por consiguiente, el número de las de cada clase de obra que se consigne en el presupuesto no podrá servirle de fundamento para entablar reclamación de ninguna clase, salvo la expresada en el art. 49.º

Art. 31.º Cuando el contratista emplease voluntariamente, con autorización del Ingeniero, materiales de mayores dimensiones que las marcadas en las condiciones particulares, sólo tendrá derecho al abono de la obra que resulte de la cubicación hecha con arreglo al proyecto, y aplicando los precios de la contrata. Si tuviesen menores dimensiones, y á pesar de esto se declarasen admisibles, se hará su abono con arreglo á lo que resulte de la cubicación.

Será de abono lo que proceda por razón del aumento de dimensiones de los materiales, siempre que el Ingeniero lo haya ordenado por escrito al contratista.

Art. 32.º Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por una partida alzada en el presupuesto general, no serán abonadas sino á los precios y condiciones de la contrata, con arreglo á los proyectos particulares que para ellas se formen, ó en su defecto, por lo que resulte de la medición final.

De la misma manera se abonará la extracción de escombros y desprendimientos que ocurran durante el plazo de garantía.

Art. 33.º Se abonarán íntegras, pero con la baja del remate, las partidas alzadas que se consignent en el presupuesto para medios auxiliares de ejecución y para los agotamientos, así como las de indemnización de daños y perjuicios ocasionados por el tránsito, habilitación de caminos provisionales, desviación de cauces y obras análogas que no formen parte integrante de la contrata.

Del mismo modo se abonarán las partidas alzadas para conservación de obras de tierra y de fábrica, y las de mano de obra de conservación del firme en las carreteras, siempre que el tiempo, durante el cual la conservación corra á cargo del contratista, sea el fijado en condiciones. Cuando se disminuya, se reducirá en proporción, y cuando se aumente sin culpa del contratista, se abonará además la parte proporcional al exceso de tiempo.

En los casos en que todas ó algunas de las partidas anteriores no aparezcan en el presupuesto, se sobrentiende que los gastos que ocasionen aquellas operaciones se hallan incluídos en los precios de las unidades de obra del presupuesto.

Art. 34.º Los pagos se harán en las épocas que fijen las condiciones particulares de la contrata, por medio de libramientos expedidos



en virtud de las certificaciones de obra dadas por el Ingeniero. Los libramientos y su importe se entregarán precisamente al contratista á cuyo favor se hayan rematado las obras, ó á persona legalmente autorizada por él, y nunca á ningún otro, aunque se libren despachos ó exhortos por cualquier Autoridad ó Tribunal para su detención, pues que se trata de fondos públicos destinados al pago de operarios y á su seguro, y no de obligaciones de intereses particulares del contratista. Únicamente del residuo que quedare después de la última recepción de las obras con arreglo á las condiciones, y de la fianza, si no hubiese sido necesario retenerla para el cumplimiento de la contrata, podrá verificarse el embargo dispuesto por las referidas Autoridades ó Tribunales.

Art. 35.º Las certificaciones de obras se extenderán en los plazos que se fijen en los pliegos de condiciones económicas del contrato, teniendo el carácter de documentos provisionales á buena cuenta, sujetos á las rectificaciones y variaciones que produzca la liquidación final.

Para formar estas certificaciones se aplicarán los precios elementales que han servido para calcular el precio medio de cada unidad de obra, teniéndose en cuenta la mejora obtenida en la subasta, y pudiendo el Ingeniero, al extender dichas certificaciones, rebajar hasta un 20 por 100 el importe que arroje la valoración así hecha, cuando alguna circunstancia especial y justificada, que deberá explicarse, aconseje verificar esta rebaja.

Art. 36.º Se comprenderán en las certificaciones las tres cuartas partes del valor de los materiales, cuando se hallen acopiados al pie de obra, según valoración que de ellos haga el Ingeniero, teniendo en cuenta este abono para deducirlo del importe total de las obras construídas con dichos materiales.

Art. 37.º Cuando fuere necesario hacer agotamientos que por las condiciones no sean de cuenta del contratista, tendrá éste la obligación de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, que le serán reembolsados por la Administración por separado de los de contrata. Á este efecto deberá hacer los pagos en presencia de la persona designada por el Ingeniero, la cual formará las listas que, unidas á los recibos, servirán de documentos justificativos de las cuentas, en las cuales estampará su V.º B.º el Ingeniero.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al contratista, se le abonará con ellos el 1 por 100 de su importe, como interés del dinero que ha adelantado y remuneración del trabajo y diligencia que ha tenido que prestar.

Art. 38.º Si el Gobierno no hiciese los pagos de las obras ejecutadas dentro de los dos meses siguientes á aquél á que corresponda la certificación dada por el Ingeniero, se abonarán al contratista, desde el día en que termine dicho plazo de dos meses, los intereses á razón de 6 por 100 anual del importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurriesen otros dos meses sin realizarse el pago, tendrá derecho el contratista á la rescisión del contrato, siendo los efectos de ésta los que se indican en el art. 54.º, procediéndose á la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y materiales acopiados. No se dará curso á solicitud alguna de rescisión de contrata fundada en esta demora de pagos, sin que el contratista acredite que á la fecha de su exposición ha invertido en obras ó en materiales acopiados la parte del presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que se le haya señalado en el contrato, y deberá justificar que en tiempo oportuno ha practicado las gestiones convenientes para cobrar el importe de los libramientos expedidos á su favor sin haberlo conseguido.

Art. 39.º En ningún caso podrá el contratista, alegando retraso en los pagos, suspender los trabajos ni reducirlos á menor escala que la que proporcionalmente corresponda con arreglo al plazo en que deben terminarse. Cuando esto suceda, podrá la Administración llevar á cabo lo que disponen los artículos 55.º y 56.º

Art. 40.º El contratista no tendrá derecho á indemnización por causa de pérdidas, averías ó perjuicios ocasionados en las obras sino en los casos de fuerza mayor. Para los efectos de este artículo se considerarán como tales casos únicamente los que siguen:

- 1.º Los incendios causados por la electricidad atmosférica.
- 2.º Los daños producidos por los terremotos.
- 3.º Los que provengan de los movimientos del terreno en que están construídas las obras, y
- 4.º Los destrozos ocasionados violentamente á mano armada, en tiempo de guerra, sediciones populares ó robos tumultuosos.

Para reclamar y obtener en su caso el abono de los perjuicios, deberá sujetarse el contratista á lo prevenido en los artículos 2.º, 3.º, 4.º y 5.º del reglamento de 17 de Junio de 1868.

Art. 41.º El contratista no podrá bajo ningún pretexto de error ú omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro general que acompaña al presupuesto.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie que se funde en indicaciones que sobre las obras, sus precios y demás circunstancias del proyecto se hagan en la memoria, por no ser documento

que sirva de base á la contrata. Las equivocaciones materiales que el presupuesto pueda contener, ya por variación de los precios respecto de los del cuadro, ya por errores en las cantidades de obra ó en su importe, se corregirán en cualquier época en que se observen; pero no se tendrán en cuenta para los efectos consignados en el art. 49.º sino en el caso de que sobre ellos se hubiese reclamado en el término de cuatro meses, contados desde la fecha de la adjudicación.

Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en el contrato respecto de la cifra del presupuesto que ha servido de base al mismo, que siempre se fijará por la relación entre las cifras de dicho presupuesto (antes de las correcciones) y la cantidad ofrecida.

Art. 42.º En ningún caso podrá alegar el contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios ó medición de las obras, cuando se hallen en contradicción con el presente pliego de condiciones ó con el particular de la contrata.

#### CAPÍTULO IV.

##### MODIFICACIONES DEL PROYECTO.

Art. 43.º Si antes de principiarse las obras ó durante su construcción la Administración resolviere ejecutar por sí parte de las que comprende la contrata, ó acordase introducir en el proyecto modificaciones que produzcan aumento ó reducción y aun supresión de las cantidades de obra marcadas en el presupuesto, ó substitución de una clase de fábrica por otra, siempre que ésta sea de las comprendidas en la contrata, serán obligatorias para el contratista estas disposiciones, sin que tenga derecho en caso de supresión ó reducción de obras á reclamar ninguna indemnización á pretexto de pretendidos beneficios que hubiere podido obtener en la parte reducida ó suprimida.

Art. 44.º Si para llevar á efecto las modificaciones á que se refiere el artículo anterior juzgase necesario la Administración suspender el todo ó parte de las obras contratadas, se comunicará por escrito la orden correspondiente al contratista, procediéndose á la medición de la obra ejecutada en la parte á que alcance la suspensión, y extendiéndose acta del resultado.

Art. 45.º Siempre que sin hallarse estipulado en las condiciones particulares del contrato se crea conveniente emplear materiales pertenecientes al Estado, sólo se abonará al contratista el valor del trans-

porte y de la mano de obra, con arreglo al cuadro de precios elementales; y si no estuvieran contenidos en él, por precios contradictorios, sin que tenga derecho á reclamar indemnización de ningún género, á no ser que hubiese hecho el acopio de los materiales contratados. Esta alteración deberá considerarse como una modificación al proyecto de la contrata para los efectos del art. 49.º

Art. 46.º Cuando se juzgue necesario emplear materiales ó ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se valorará su importe á los precios asignados á otras obras ó materiales análogos, si los hubiere, y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero y el contratista, sometiénolos á la aprobación superior si resultase acuerdo.

Los nuevos precios, por uno ú otro procedimiento convenidos, se sujetarán siempre á la baja correspondiente á la obtenida en el remate.

Cuando se proceda al empleo de los materiales ó ejecución de las obras de que se trata sin la previa aprobación superior de los precios que hayan de aplicárseles, se entenderá que el contratista renuncia su derecho y se conforma con los que fije la Administración.

Cuando no hubiere conformidad para la fijación de estos precios entre la Administración y el contratista, quedará éste relevado de la construcción de la parte de obra de que se trata, sin derecho á indemnización de ninguna clase, abonándole, sin embargo, los materiales que sean de recibo y que hubieren quedado sin empleo por la modificación introducida.

Art. 47.º Cuando en la contrata se comprendan algunas obras de tal naturaleza que, figurando por una cantidad alzada en el presupuesto, no se haga su proyecto definitivo sino á medida que se vayan conociendo sus circunstancias, se aplicarán á estas obras las disposiciones que para los proyectos de modificaciones se determinan en los artículos 43.º y 49.º

## CAPÍTULO V.

### CASOS DE RESCISIÓN.

Art. 48.º En caso de muerte del contratista quedará rescindido el contrato, á no ser que los herederos ofrezcan llevarlo á cabo bajo las condiciones estipuladas en el mismo. El Gobierno puede admitir ó desechar su ofrecimiento, sin que en el último caso tengan aquéllos derecho á indemnización alguna, aunque sí á que se adquieran por el

Estado, previa tasación, las herramientas, útiles y efectos destinados á las obras, que sean indispensables para su terminación.

Art. 49.º Cuando las modificaciones que se mencionan en los artículos 43.º y 45.º alteren el presupuesto de la contrata, de manera que en el importe total resulte una diferencia de la quinta parte en más ó en menos, el contratista tendrá derecho á la rescisión y al abono de los materiales que sean de recibo y que queden sin empleo, á los precios del cuadro especial. Para la fijación de la diferencia se sumarán todas las alteraciones introducidas en el presupuesto, ya sean unas por exceso y otras por defecto.

El mismo derecho tendrá el contratista cuando las alteraciones provengan de las equivocaciones materiales de que habla el art. 41.º, siempre que sobre ellas haya reclamado en el término que en el mismo artículo se determina, ó cuando provengan de la diferencia entre el presupuesto detallado de las obras á que se refiere el art. 47.º y la partida alzada que para las mismas figure en el general de la contrata.

Cuando se reúnan dos ó más de las causas expresadas en este artículo, podrán acumularse sus resultados para el efecto de producir derecho á la rescisión.

Art. 50.º Cuando no pueda darse principio á las obras por causas independientes de la voluntad del contratista, ó bien cuando por el Gobierno se disponga que dichas obras, después de comenzadas, cesen ó se suspendan indefinidamente, tendrá el contratista derecho á la rescisión, procediéndose en su caso á la recepción provisional de las ejecutadas, y á la final cuando haya espirado el plazo de garantía.

Art. 51.º Si llegase á transcurrir el término señalado para la ejecución de las obras sin que se alce la suspensión á que se refiere el art. 44.º, tendrá el contratista derecho á la rescisión y á que se proceda desde luego á la recepción provisional de lo ejecutado, y á la final, espirado que sea el plazo de garantía. Igual derecho se le concede cuando dure más de un año la suspensión, siempre que el importe de la obra á que ésta se refiere sea mayor que la cuarta parte del total de la contrata.

Art. 52.º Si durante la ejecución de las obras experimentasen los precios un aumento notable, podrá rescindirse la contrata á petición del contratista, siempre que del expediente que se instruya al efecto resulte probado: primero, que el alza ha tenido lugar desde la época en que se verificó la subasta, no desde que se formó el proyecto; segundo, que no es debida á la ejecución de las obras á que se refiere la

contrata, sino á la de otras que se hayan emprendido con posterioridad, ó á una causa general no prevista; tercero, que no es producida por circunstancias de carácter transitorio, como las faenas de la agricultura ú otras análogas. Se entiende por aumento notable en los precios el que, aplicado á la mano de obra que falte ejecutar, produzca una cantidad superior á la cuarta parte del importe total de la contrata.

Art. 53.º En el caso de que por alza de precios reclame el contratista la rescisión, no por esto podrá suspender las obras.

Si transcurridos tres meses el Gobierno no hubiese resuelto sobre su reclamación, se considerará de hecho rescindida la contrata, y se procederá á la liquidación de lo ejecutado hasta entonces á los precios de la misma, sin aumento alguno ni abono de ninguna clase por vía de indemnización de perjuicios.

Art. 54.º Siempre que por las causas que expresan los artículos 38.º, 50.º y 51.º se rescinda la contrata, las herramientas y útiles indispensables para la terminación de las obras, cuyo empleo hubiere previamente autorizado el Ingeniero y con los cuales no quiera quedarse el contratista, se tomarán por el Gobierno, previa valuación convencional ó por peritos, sin aumento de ninguna especie bajo pretexto de beneficios ni por otra razón alguna; entendiéndose que sólo tendrá lugar el abono por este concepto cuando el importe de los trabajos realizados hasta la rescisión no llegue á los dos tercios de las obras contratadas en las de puertos y sus análogas, y á los cuatro quintos en las de carreteras y las que con ellas tengan semejanza.

Los materiales acopiados y puestos al pie de obra, si son de recibo y de aplicación para la terminación de las obras, serán igualmente tomados por cuenta de la Administración á los precios que marque el cuadro especial para este objeto; y cuando no estén comprendidos en él, se fijarán contradictoriamente.

También se tomarán al contratista los materiales que, reuniendo las mismas circunstancias, se hallen acopiados fuera de la obra, siempre que los transporte al pie de ella en el término de un mes, á no ser que la Administración prefiera recibirlos en el punto en que se encuentren.

Se concederá, además, al contratista una indemnización que determinará el Gobierno oyendo al Consejo de Estado, pero que nunca excederá del 3 por 100 del valor de las obras que resten por ejecutar.

Art. 55.º En las condiciones especiales facultativas de cada contrato se fijará el desarrollo de los trabajos, señalando plazos prudentes.

ciales para el progreso de las obras dentro del total de ejecución de las mismas.

Estos plazos son obligatorios para el contratista, y si hubiese motivo para creer que dentro de cada uno no da á las obras el desarrollo correspondiente, el Director facultativo avisará con antelación y por escrito al contratista, dictando además las disposiciones conducentes al puntual cumplimiento de la contrata.

Si á pesar de esto llegase el término de algún plazo sin que hubiese construído el contratista las obras correspondientes, procede la rescisión del contrato.

Art. 56.º En el caso prescrito en el artículo anterior, y una vez dictada la rescisión del contrato, se entiende ésta con pérdida de la fianza, sin que se admita al contratista reclamación alguna ni otro derecho que al abono de la cantidad de obra construída y de recibo.

Sólo cuando demuestre que el retraso de las obras fué producido por motivos inevitables y ofrezca cumplir su compromiso dándole prórroga del tiempo que se le había designado, podrá la Administración, si así lo tuviese por conveniente, concederle la que prudencialmente le parezca.

Art. 57.º Cuando la rescisión de una contrata tenga lugar por alguna de las causas expresadas en los artículos 49.º, 52.º y 53.º, no tendrá derecho el contratista á reclamar indemnización de ningún género, ni á que se adquieran por la Administración los útiles y herramientas destinados á las obras.

## CAPÍTULO VI.

### MEDICIÓN, RECEPCIÓN DE LAS OBRAS Y LIQUIDACIÓN FINAL.

Art. 58.º Las mediciones parciales se verificarán en los plazos que se fijen en el pliego de condiciones económicas de la contrata, citándose previamente al contratista por si cree conveniente presenciárlas. Como documentos provisionales, quedan sujetos á las rectificaciones á que dé lugar la medición final, por lo cual no suponen aprobación ni recepción de las obras á que se refieren.

Art. 59.º Al terminarse las obras se procederá inmediatamente á su recepción provisional por el Ingeniero que la Dirección general designe, y con precisa asistencia del contratista ó de su representante debidamente autorizado. Si expresamente requerido no asistiese ó renun-

ciase por escrito á este derecho, conformándose de antemano con el resultado de la operación, el Ingeniero Jefe de la provincia acudirá al Gobernador para que de nuevo lo requiera; y si tampoco asistiese, dicha Autoridad le nombrará á su costa un representante de oficio.

Del resultado de la recepción se extenderá una acta que, firmada por todos los asistentes, se remitirá á la Dirección general.

Si se encontrasen las obras en buen estado y con arreglo á condiciones, se darán por recibidas provisionalmente, entregándose al uso público y comenzando el plazo de garantía y conservación fijado en las condiciones particulares á cargo del contratista.

Art. 60.º Recibidas provisionalmente las obras, se procederá en seguida á su medición general y definitiva, con precisa asistencia del contratista ó de un representante suyo, nombrado por él ó de oficio, según se previene en el artículo anterior.

Servirán de base á la medición de las explanaciones los planos y perfiles del replanteo, en los que se dibujarán con las medidas tomadas en la obra la forma y disposición en que ha quedado la superficie del terreno, para deducir el número de metros cúbicos de desmonte y de terraplén que ha ejecutado el contratista.

Se medirán las obras de fábrica en todas aquellas partes que se hallen al descubierto, y en las ocultas se adoptarán las dimensiones consignadas en los planos y perfiles que habrán debido formarse precisamente durante la construcción y que llevarán la firma del Ingeniero y del contratista.

El volumen del firme se determinará por medio de calicatas abiertas en los puntos que designe el Ingeniero.

Las obras accesorias se medirán por iguales procedimientos á los empleados en las que forman parte de la principal.

Art. 61.º La valoración de lo ejecutado por el contratista se hará aplicando al resultado de la medición general y de las cubicaciones los precios que para cada unidad de obra señala el presupuesto, y teniendo además presente lo que previenen los artículos 30.º, 31.º, 32.º y 33.º de este pliego. Al importe total se le aumentará el tanto por ciento del presupuesto de contrata y se le aplicará la baja proporcional á la del remate; del líquido se deducirá lo abonado en certificaciones.

La liquidación se redactará con arreglo al formulario é instrucciones que rijan, y con todos los datos y copias de planos y perfiles se pasará al contratista por un plazo de treinta días, para que pueda examinarla y la devuelva con su conformidad ú observaciones.

Si por la importancia de la obra ó por la clase y número de docu-



mentos, no estimare el contratista suficiente aquel plazo para el examen, lo hará presente indicando el que necesita; y el Ingeniero Jefe, si en ello no hubiere inconveniente, resolverá si há lugar ó no á conceder la prórroga y su duración.

Espirado el plazo ó la prórroga, y no exponiendo el contratista sus observaciones, se le tendrá por conforme con la liquidación, que en tal caso, así como en el de que contestase, se elevará con informe del Ingeniero Jefe á la Dirección general para la resolución que proceda.

Art. 62.º Durante el plazo de garantía el contratista cuidará de la conservación y policía de la obra, empleando en ella los materiales con arreglo á las instrucciones que dicte el Ingeniero. Si descuidase la conservación, y desobedeciendo aquellas órdenes diera lugar á que peligrase el tránsito ó uso público de la obra, se ejecutarán por Administración y á su costa los trabajos necesarios para evitar el daño.

Art. 63.º Terminado el plazo de garantía se procederá á la recepción definitiva con las formalidades señaladas en el art. 59.º para la provisional, y si se encuentran las obras en perfecto estado de conservación, se darán por recibidas y quedará el contratista relevado de toda responsabilidad.

Si no se encontrasen las obras en buen estado, se hará constar así en el acta; se darán al contratista por el Ingeniero Jefe precisas y detalladas instrucciones para remediar los defectos observados, y se le fijará un plazo para que lo verifique, llevándose á cabo á su espiración un nuevo reconocimiento y recepción de las obras. Si el contratista no cumpliese, se declarará rescindida la contrata, con pérdida de la fianza.

Art. 64.º Verificada la recepción definitiva, se hará la liquidación de las obras y trabajos ejecutados durante el plazo de garantía, con arreglo á lo establecido en el presupuesto, en las condiciones particulares de la contrata y en el segundo párrafo del art. 33.º del presente pliego.

Art. 65.º Aprobada la liquidación definitiva se devolverá la fianza al contratista, después que éste acredite, por medio de certificados de los Alcaldes de los distritos municipales en cuyos términos se hubiesen ejecutado las obras, que no existe reclamación alguna contra él por los daños y perjuicios que son de su cuenta, ó por deudas de jornales ó materiales y por seguros de operarios, y que justifique también haber satisfecho la contribución industrial correspondiente á su contrata.

Art. 66.º Si el Gobierno creyese conveniente hacer recepciones parciales, no por eso tendrá derecho el contratista, aunque quede libre

de la responsabilidad de las obras recibidas, á que se devuelva la parte proporcional de la fianza, que quedará íntegra hasta la terminación de todas las obras, para responder del cumplimiento de la contrata, según se dispone en el artículo anterior.

Madrid, 11 de Junio de 1886.—Aprobado por S. M.—*Eugenio Montero Ríos.*

## INSTRUCCIÓN

PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PLIEGO GENERAL PARA LA CONTRATACIÓN DE LAS OBRAS PÚBLICAS, APROBADO EN 11 DE JUNIO DE 1886.

### REAL ORDEN.

El Excmo. Sr. Ministro de Fomento me dice con esta fecha:

«Excmo. Sr.: Para dar cumplimiento á lo prevenido en el Real decreto de 11 de Junio último aprobando el pliego de las condiciones generales que han de regir en lo sucesivo en la contratación de las obras públicas, S. M. la Reina Regente (q. D. g.) se ha servido disponer lo siguiente:

»Cuando esté aprobado el proyecto de una carretera y el Gobierno decida construirla, la Dirección general, antes de anunciar la subasta de las obras, ordenará al Ingeniero Jefe de la provincia en que éstas se hallen situadas que proceda al replanteo del eje ó directriz de la vía, y si há lugar, á la revisión del proyecto aprobado. El Ingeniero Jefe hará el replanteo, señalando la traza sobre el terreno de manera que sea claramente perceptible y pueda luego comprobarse cuando se haya contratado la ejecución de las obras; para lo que deberá marcar los puntos principales con cotos ó señales que se conserven, ó bien refiriéndolos á otros fijos del terreno que permitan restablecerlos si desapareciesen. En este replanteo podrá el Ingeniero Jefe estudiar é introducir las modificaciones que, sin separar la carretera de la zona del proyecto, mejoren sus condiciones técnicas ó económicas.

»Si la traza así señalada no coincidiera sensiblemente con la del proyecto, se levantarán su plano y perfiles, intercalando los transversales que sean indispensables para definir convenientemente la superficie del terreno.

»Al mismo tiempo se revisarán la clasificación y distribución de las excavaciones, abriendo las calicatas necesarias, si el simple aspecto del suelo no bastase para formar juicio seguro de la naturaleza de los terrenos que hubiesen de removerse; y con estos datos se redactarán nuevamente, en su caso, los anexos números 6, 7, 8, 11, 12, 13 y 14 de la memoria del proyecto aprobado, deduciendo los precios medios que en definitiva deban adoptarse en la explanación.

»Otro tanto se hará con los precios medios de las obras de fábrica y del firme, si del reconocimiento de los sitios de procedencia de los materiales, ó del examen de su clase y condiciones, resultare la necesidad de introducir alguna alteración en aquellos precios.

»En tales casos habrá de redactarse de nuevo, por completo, el presupuesto en sus tres capítulos, poniéndolo en perfecta concordancia con los precios revisados y con las cantidades de obra que resulten del replanteo; y este documento y el plano y perfiles de la traza reformada, que por copia remitirá el Ingeniero Jefe á la Dirección general, formarán parte de los de la contrata de la obra en substitución del presupuesto y de los planos y perfiles del proyecto.

»Si en el replanteo coincidiera la traza con la ya aprobada y tampoco hubiese variaciones que introducir en los precios y cantidades de obra del presupuesto, lo avisará el Ingeniero Jefe á la Dirección general, y la licitación versará sobre el proyecto aprobado.

»En los casos excepcionales en que lo quebrado del terreno impida replantar la carretera sin hacer antes una parte de la explanación para abrir senda ó camino practicable, se formará, al estudiar el proyecto, un solo trozo con toda la longitud de línea que se halle en estas condiciones y en la que el terreno sea de la misma naturaleza en toda su extensión, y en ese trozo se prescindirá del replanteo previo á la subasta, pero fijando el precio del desmonte con pleno conocimiento de la única clase de terreno que hay que excavar y quedando sólo la incertidumbre acerca de la cuantía del volumen de esta excavación.

»En la ejecución de las carreteras cuyos proyectos se hubiesen redactado con arreglo al antiguo formulario y cuya construcción no haya sido aún adjudicada, se observarán todas las prescripciones anteriores. En su consecuencia, los Ingenieros Jefes de las provincias respectivas practicarán los replanteos tan pronto como reciban orden de la Dirección general, y á ésta elevarán todos los documentos antes expresados, redactados con estricta sujeción al nuevo formulario, así como también el pliego de condiciones facultativas, revisado en lo que no concuerde con el que forma parte de dicho reciente formulario.

»Finalmente, estas mismas disposiciones se harán también extensivas á las demás obras públicas distintas de las carreteras en todo aquello que pueda serles aplicable mientras se redactan los formularios especiales para cada clase; quedando desde luego exceptuadas del replanteo previo aquellas obras que por su naturaleza pueden ser determinadas y definidas con toda exactitud por los documentos del proyecto.»

Y lo traslado á V. S. para su cumplimiento.

Dios guarde á V. S. muchos años.—Madrid 24 de Agosto de 1886.  
—El Director general interino de Obras públicas, BENIGNO QUIROGA BALLESTEROS.—*Sr. Ingeniero Jefe de la provincia de....*

# FORMULARIOS.

## INSTRUCCIONES PARA SU INTELIGENCIA Y APLICACION.

### LATITUDES

QUE SEGÚN SU ORDEN SE FIJAN PARA CADA CLASE DE CARRETERAS.

| ORDEN<br>DE LAS<br>CARRETERAS. | ANCHO        |                | LATITUD      |
|--------------------------------|--------------|----------------|--------------|
|                                | DEL FIRME.   | DE LOS PASEOS. | TOTAL.       |
|                                | —<br>Metros. | —<br>Metros.   | —<br>Metros. |
| 1. <sup>o</sup> .....          | 5,50         | 2,50           | 8,00         |
| 2. <sup>o</sup> .....          | 5,00         | 2,00           | 7,00         |
| 3. <sup>o</sup> .....          | 4,50         | 1,50           | 6,00         |

El ancho total se contará entre las aristas interiores de las cunetas ó las exteriores de los terraplenes y de los muros.

Queda al arbitrio de los Ingenieros la distribución que crean más conveniente del espacio destinado á paseos á uno y otro lado del firme; la supresión ó reducción de uno de ellos ó de ambos; los casos en que deban cubrirse en todo ó en parte con la última capa de piedra del firme, y demás variaciones que, según las circunstancias especiales de la localidad, consideren oportunas, justificando estas alteraciones en la memoria.

También podrán los Ingenieros proponer mayor ó menor latitud en la explanación cuando por las condiciones del tráfico ú otras circunstancias especiales lo juzguen conveniente.

En este caso deberán elevar á la Superioridad una consulta razonada antes de redactar el proyecto.

## ADVERTENCIAS.

1.<sup>a</sup> Los documentos que han de constituir todo proyecto de carretera, cualquiera que sea el orden á que pertenezca, deben ser los cuatro siguientes:

- 1.<sup>o</sup> Memoria.
- 2.<sup>o</sup> Planos.
- 3.<sup>o</sup> Pliego de condiciones facultativas.
- 4.<sup>o</sup> Presupuesto.

2.<sup>a</sup> Del proyecto formado con los documentos expresados se sacará una copia para remitirla á la Dirección general de Obras públicas, quedando el original en el Archivo de la provincia.

3.<sup>a</sup> Algunas veces un proyecto de carretera podrá comprender una ó más obras de importancia que merezcan ser consideradas especialmente, formando un proyecto aparte, aunque teniéndole en consideración en el de la carretera, acompañándole con el mismo é incluyendo su presupuesto en el general y en los resúmenes. En este caso se encuentran los grandes puentes, viaductos ó túneles, en cuyos proyectos se seguirá un sistema análogo al que se indica al tratar en particular de cada documento de los que constituyen el proyecto de la carretera, teniendo en cuenta las prescripciones que para su mayor claridad se consignan en los apéndices á estos formularios (1).

4.<sup>a</sup> La memoria, pliego de condiciones y presupuesto deberán escribirse en papel común, no continuo, del tamaño ordinario, ó sea de 32 centímetros de alto, dejando en ambos lados de cada página márgenes proporcionadas. En el de la izquierda se indicará al lado de cada párrafo el objeto de que se trata.

5.<sup>a</sup> En el pliego de condiciones nunca se escribirán en cifras, sino en letra, y después en cifras entre paréntesis, las dimensiones de las diversas

(1) Á pesar de lo que se manifiesta en esta advertencia, los apéndices no se han incluido en el documento oficial. Constan en el volumen que contiene los formularios de 1878, pero no se transcriben, porque varias de las reglas que se refieren á proyectos de puentes deberían modificarse para ponerlas en armonía con los principios que rigen desde 1886.

obras, las citas de artículos y cualesquiera cantidades y números á que en este documento sea preciso hacer referencia.

6.<sup>a</sup> No se encuadernarán ni se coserán unos con otros documentos formando un solo volumen, sino que deberán presentarse con la debida separación, poniendo en la primera hoja ó cubierta de cada uno, en letra bien clara y perceptible, el título del documento respectivo.

7.<sup>a</sup> El presupuesto se subdividirá por capítulos, cosiéndolos separadamente, poniendo á cada uno la correspondiente cubierta é incluyéndolos en una general.

8.<sup>a</sup> Los planos y perfiles se dibujarán en hojas de papel tela de un ancho de 32 centímetros y con la longitud necesaria, plegándose de modo que queden reducidos al tamaño de medio pliego de papel de marca ordinaria, que es el que han de tener los demás documentos.

9.<sup>a</sup> En el caso especial de que fuese forzoso usar para algún plano del trazado, perfil longitudinal ú obra de fábrica importante, papel de mayor anchura que la señalada como tipo, se doblará principiando por hacerlo en sentido de la menor dimensión con que ha de quedar, para reducirlo al ancho de los demás documentos, y después se plegará para que tome la altura de aquéllos.

10.<sup>a</sup> Después de doblada cada hoja de planos al tamaño expresado, deberá escribirse en la cara que quede visible, y en la carpeta un título que designe claramente el número de orden de la hoja y lo que ésta contenga; es decir, si es el plano general, perfil, detalles, obras de fábrica, etc., cuyos números y epígrafes deberán coincidir con los del índice de la portada que precede á los planos.

11.<sup>a</sup> Todos los documentos del proyecto así reducidos á las mismas dimensiones, se introducirán en una carpeta del mismo tamaño, que se atará con cintas de hilo, fuertes, de color y bien sujetas á los cartones por los lados. En la cara superior de esta carpeta se escribirá un rótulo que designe la provincia, el nombre de la carretera, el autor del proyecto y el año en que se redacte.

12.<sup>a</sup> Si la carretera de que se trate comprendiese más de una provincia, se formarán tantos proyectos separados como provincias atraviere la línea, terminando cada proyecto en los límites de la provincia respectiva, excepto cuando por circunstancias especiales convenga alterar esta regla general; lo que se verificará en todo caso con autorización de la Superioridad.

13.<sup>a</sup> Previa la determinación por los Ingenieros Jefes de las provincias limítrofes del punto de paso en el límite de las mismas, y puestos de acuerdo respecto á las condiciones del trazado en la extensión que sea conveniente, se estudiará toda la línea por los Ingenieros respectivos; si sólo se trata del proyecto de la sección comprendida en una provincia, el estudio fuera de la misma se habrá de extender hasta un punto de sujeción invariable previamente determinado, aunque sólo se presentará el proyecto completo de todas las obras hasta el confín de la provincia.

14.<sup>a</sup> Los cuadros, estados y relaciones que han de acompañar á la memoria y al presupuesto, deben estar autorizados como corresponde á todo documento y en la forma que para cada uno se detalla.

15.<sup>a</sup> Teniendo en cuenta las innovaciones que se introduzcan en la valoración de alguna de las partes del presupuesto, se hará la subdivisión de los proyectos en trozos, partiendo de la base de la mayor uniformidad posible en la naturaleza del terreno que atraviere cada uno de ellos; y dentro de esta prescripción, que su longitud no exceda de 10 kilómetros.



(Rótulo para la cartera que cubre el proyecto.)

PROVINCIA DE.....

---

---

PROYECTO DE CARRETERA DE..... ORDEN

DE..... A..... POR.....



INGENIERO D.....

---

*Año de. . . . .*



(Cubierta de la memoria.)

PROYECTO DE CARRETERA DE. . . . . ORDEN

DE. . . . . A. . . . . POR. . . . .



DOCUMENTO NÚMERO 1.



MEMORIA.



## MEMORIA.

## PRIMERA PARTE.

**Consideraciones relativas al proyecto en general.**

1.<sup>a</sup> Empezará la memoria indicando la situación de la carretera y su relación y enlace con las demás comunicaciones de la provincia; y después de hacer la descripción general del terreno, expresando la dirección y demás circunstancias de los valles y divisorias del país, muy particularmente en la parte comprendida en la zona que abracen los diferentes proyectos que puedan considerarse entre los puntos extremos de la línea, se razonarán las ventajas del trazado elegido sobre los demás que pudieran intentarse, tanto desde el punto de vista del servicio que la carretera ha de prestar, cuanto respecto á las condiciones del trazado, á la importancia de las obras y á la del presupuesto; tomando en cuenta el coste probable de su conservación, previa la sucinta reseña de los principales trabajos que deberán ejecutarse en cada uno de los proyectos.

También se tendrá en cuenta la constitución geológica del terreno, acerca de la cual se harán las indicaciones que se crean indispensables, designando los materiales de construcción que en la formación descrita puedan encontrarse.

Cuando por circunstancias especialísimas no se pueda presentar el proyecto completo de toda la carretera, la parte estudiada habrá de partir siempre de uno de los extremos de la línea total, ó del final de un trozo ya construído: en el primer supuesto, si el punto de partida no fuese una población fijada en el plan general, se habrá de discutir la elección de aquel punto, que en este caso será el de otra vía ya construída, presentando la completa demostración de las ventajas ó de la necesidad de dicha elección; el otro extremo de la sección habrá de ser una población, el paso obligado de un río principal ó el de una divisoria. Á falta de los objetos dichos, se elegirá otro de los más notables del territorio; pero siempre se habrá de justificar que el punto elegido es de sujeción invariable para el trazado, y en todos los casos

el horizontal y el vertical se presentarán hasta un kilómetro, como mínimo, más allá del punto final elegido para el proyecto.

2.<sup>a</sup> Longitud de la carretera en kilómetros.

3.<sup>a</sup> Dimensiones generales de la vía según el orden á que pertenezca, especificando las razones que en casos especiales ó en pasos difíciles motiven su alteración.

4.<sup>a</sup> Número y designación de los trozos en que se divida el proyecto, indicando la longitud de cada uno en kilómetros, y las razones en que se funde la división.

5.<sup>a</sup> Sistema administrativo que conviene adoptar para llevar á efecto la ejecución de las obras, razonándolo.

6.<sup>a</sup> Orden de preferencia que deberá seguirse en la ejecución, y plazo en que ésta pueda llevarse á efecto, considerada la cuestión bajo el aspecto técnico.

## SEGUNDA PARTE.

### Descripción del proyecto.

1.<sup>o</sup> En esta parte de la memoria, al hacer la descripción del proyecto, se justificarán sus condiciones técnicas, razonando las de la traza, así en su proyección horizontal como en la vertical, tanto desde el punto de vista de la perfección del trazado y de la facilidad del acarreo, como de los elementos del coste de la expropiación y de las diversas clases de obra.

Respecto á las travesías de los pueblos, se discutirá si han de llevarse por el interior de las poblaciones ó por fuera, tomando muy en cuenta el valor que se calcule para las expropiaciones.

2.<sup>o</sup> Explicación de los pasos difíciles y de las obras de fábrica de importancia.

3.<sup>o</sup> Razones en que se funde la adopción de la distancia límite á que se calcule que convenga conducir los productos de los desmontes para formar terraplenes, y motivos que hagan indispensable el empleo de tierras de préstamo hasta el volumen que se proponga.

4.<sup>o</sup> Dimensiones máximas, medias y mínimas de las cunetas de la vía y de las zanjas de coronación cuando deban abrirse, y casos en que se hayan de empedrar ó enrastrillar sus soleras.

5.<sup>o</sup> Respecto de los muros se dirá cuándo se proponen para sostenimiento de los terraplenes y cuándo para revestir el talud de los

desmontes; la clase de fábrica, sistema de construcción y razones que se hayan tenido presentes para adoptar el perfil transversal de los mismos.

6.º Indicación de las consideraciones que han servido para adoptar los tipos de obras de fábrica propuestos, especificando, respecto de las de mayor importancia, las razones que haya habido para la designación de sus emplazamientos, para la determinación de sus claros, formas y dimensiones, y para la elección de las clases de fábrica de cada una de sus partes.

7.º Se harán cuantos estudios sean necesarios, y de ellos se darán explicaciones en la memoria, para conocer la naturaleza y circunstancias de las localidades en que hayan de establecerse las obras de fábrica importantes, proponiéndose los sistemas de fundaciones que deban emplearse. Los proyectos de cimentación de estas obras se formarán en vista del resultado de los sondeos previos que habrán de practicarse cuando sea posible, sin perjuicio de las modificaciones que aun así pudieran resultar indispensables al ejecutar las obras.

8.º Relación de los materiales que se han de emplear en las obras, puntos en que se encuentran, distancias á que se hallan de los trabajos, y recorridos medios que se han tenido presentes para la formación de los presupuestos.

9.º Razonar lo que se proponga en las condiciones acerca de la manipulación y empleo de las argamasas ó morteros y hormigones comunes, hidráulicos ó bituminosos.

10.º Lo mismo respecto del perfil que se dé á la caja ó asiento del firme y época en que se extenderá éste.

11.º Respecto al afirmado se expresarán la calidad y tamaño de la piedra que haya de emplearse, el sistema de machaqueo, el número de capas, sus espesores, el bombeo que haya de resultar, calidad del relleno y modo de consolidación artificial, teniendo muy especial cuidado en justificar la adopción de una ó dos capas para el firme, según en cada caso se juzgue más conveniente.

12.º Justificación de los precios que se asignan á las diferentes unidades de obra. Esta justificación se hará con la extensión conveniente respecto á cada uno de los trozos, y se establecerá la comparación con las mismas clases de obra si existiesen en la provincia, que ofrezcan analogía con las proyectadas.

13.º El precio único asignado al metro cúbico de desmonte en cada trozo se justificará mediante la clasificación de los terrenos y el volumen de los productos que hayan de depositarse en caballeros, dedu-

cido del perfil gráfico de la explanación; todo con arreglo al anexo número 11.º de la memoria.

14.º El precio único del terraplén en cada trozo se justificará por los volúmenes y distancias que hayan de recorrer los productos de la excavación de la línea destinados á la formación de los terraplenes, deducidos unos y otras del perfil gráfico de la explanación, y además por el volumen que para el mismo objeto sea preciso tomar de zanjas de préstamo; todo según el anexo núm. 12.º de la memoria.

15.º Los precios de las obras de fábrica se fijarán teniendo en cuenta la procedencia de los materiales y especialmente los de la piedra y ladrillo, su distancia media de transporte y todas las operaciones necesarias para dejar la obra terminada con arreglo á condiciones. Los precios serán los mismos en toda la longitud del trozo para cada clase de fábrica; pero en el cuadro núm. 2.º del presupuesto, donde se detallan estos precios, podrán consignarse distintos para algunas obras, si circunstancias especiales modificasen sensiblemente el coste de sus fábricas con relación á las demás. En tal caso deberá expresarse en dicho cuadro núm. 2.º, con toda claridad, las obras ó la parte de la línea á que deben aplicarse los distintos precios de la misma clase de fábrica; así, se dirá: «Metro cúbico de sillería en muros rectos para el puente de *tal*, situado en *tal* parte;» ó para los pontones *tales* y *tales* de los kilómetros *tal* al *tal*. En una palabra, hay que tener presente que el cuadro núm. 1.º del presupuesto es la base del contrato, y debe, por tanto, contener los precios medios *invariables* de las diversas unidades de obra del proyecto, en el supuesto de que el contratista construya la totalidad de ellas con arreglo á condiciones; mientras que el cuadro núm. 2.º sólo se aplica en caso de no terminación de la contrata, y para los abonos mensuales á buena cuenta, siendo necesario hallar en él medio de justipreciar las operaciones que ha ejecutado el contratista en cada una de las diversas obras que han quedado sin concluir. No debe olvidarse que la Administración, así en las certificaciones mensuales como en los casos de rescisión, sólo abona los materiales que se hallan al pie de obra, y por ello nunca debe figurar su transporte en el cuadro núm. 2.º, si bien el Ingeniero habrá de contar con ese transporte al fijar el precio que en dicho cuadro núm. 2.º asigne al material puesto al pie de obra.

16.º El precio único del metro lineal de firme en todo el trozo se determinará, según aparece en el anexo núm. 15.º de la memoria, por el valor de la piedra machacada y del recebo que entren en su composición y por el de todas las operaciones necesarias para dejarlo en



condiciones de tránsito. En esta parte del presupuesto se atenderá también á las consideraciones consignadas al tratar del precio de las obras de fábrica, es decir, que si en alguna ó algunas partes de la longitud del trozo la distinta distancia ó naturaleza de la piedra ú otra causa cualquiera produjesen una diferencia sensible y digna de tomarse en cuenta en el coste de ejecución del firme, se establecerán en el cuadro núm. 2.º diversos precios, sea para el metro cúbico de primera ó segunda capa puesto al pie de obra, sea para el recebo, ó sea, finalmente, para las operaciones del arreglo y consolidación del material, expresando los kilómetros á que cada precio se refiere.

*(Sello de la provincia.)*

FECHA Y FIRMA DEL INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO.

EXAMINADO.  
El Ingeniero Jefe.  
*(Media firma.)*

*(Firma entera.)*

## DOCUMENTOS ANEXOS A LA MEMORIA.



### Anexo núm. 1.

CROQUIS de la provincia ó de la parte correspondiente á que afecte la carretera, indicando en él las vías de comunicación construídas, en construcción y la que se proyecta.

### Anexo núm. 2.

#### PLANO GENERAL.

En este plano se representarán en escala de  $\frac{1}{50000}$  (quedando, sin embargo, los Ingenieros con la facultad de variarla según convenga) los principales objetos, puntos notables y accidentes importantes del terreno, para que puedan apreciarse en globo todas las circunstancias del trazado á que se hace referencia en la memoria. Se representará la topografía del terreno marcando los thalwegs ó vaguadas y divisorias en una zona mayor ó menor, según los casos: siempre que

el trazado siga la ladera de un valle, habrá de representarse el thalweg del mismo, y se adoptarán para la representación de los objetos los signos convencionales que se crea convenientes.

La zona que abrace el plano general deberá ser suficiente, cuando menos, para que en ella puedan indicarse las direcciones que se hayan examinado, y situarse los pueblos por donde se crea posible ó conveniente llevar el trazado, ó se haya juzgado oportuno examinar si existía semejante conveniencia. Se señalarán en el plano los ferrocarriles, carreteras, caminos provinciales ó vecinales que atraviesen ó se aproximen á la línea del proyecto, las corrientes de aguas más importantes, y los puntos culminantes de las divisorias y collados notables. No deberá nunca omitirse la orientación.

Se marcará por líneas gruesas la separación de los trozos en que se haya dividido el proyecto, escribiendo en el sitio conveniente el número de cada uno.

### Anexo núm. 3.

#### PERFIL LONGITUDINAL GENERAL.

En este perfil, cuya escala será la misma del plano para las horizontales, y otra diez veces mayor para las alturas, se marcarán los trozos en que la carretera se divida; los kilómetros, las distancias parciales del terreno y puntos notables desde el origen; se señalarán con sus nombres los pasos de agua más principales, las divisorias y collados, las travesías ó los trayectos en confrontación de los pueblos, los cruces con ferrocarriles, otras carreteras, caminos provinciales y los demás puntos notables y sus cotas.

Se señalarán por líneas gruesas los límites de los trozos en que se haya dividido el proyecto, escribiendo en el sitio conveniente el número de cada uno.

Se suprimirá en el perfil general la representación de las rasantes.

El plano y perfil general llevarán firma entera del Ingeniero autor del proyecto, «Examinado» del Ingeniero Jefe, y el sello de la provincia.

## Anexo núm. 4.

TROZO I.º

### ESTADO DE ALINEACIONES.

| NÚMERO<br>DE ORDEN. | RECTAS.        |                 |                | CURVAS.        |                | OBSERVACIONES.                    |
|---------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|
|                     | RUMBOS.        |                 | LONGITUD.      | RADIO.         | LONGITUD.      |                                   |
|                     | <i>Grados.</i> | <i>Minutos.</i> | <i>Metros.</i> | <i>Metros.</i> | <i>Metros.</i> |                                   |
| 1                   | 125            | 15              | 1.235          | »              | »              |                                   |
| 2                   | »              | »               | »              | 100            | 160            |                                   |
| 3                   | 135            | 30              | 688            | »              | »              |                                   |
| 4                   | »              | »               | »              | »              | 225            | La curva núm. 4<br>es parabólica. |
| 5                   | 186            | 10              | 854            | »              | »              |                                   |
| etc.                | etc.           | etc.            | etc.           | etc.           | etc.           |                                   |
|                     | SUMAS.....     |                 |                |                |                |                                   |

#### RESUMEN DE LAS ALINEACIONES RECTAS.

|                           | NÚMERO<br>de<br>alineaciones. | SUMAS<br>de las<br>longitudes parciales.<br>—<br><i>Metros.</i> |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| De 0 á 100 metros.....    | 6                             | 520                                                             |
| De 101 á 200 íd. ....     | 17                            | 1.237                                                           |
| De 201 á 300 íd. ....     | 9                             | 970                                                             |
| <i>Sumas totales.....</i> |                               |                                                                 |

La longitud en línea recta es *tanto* por 100 del total, y la en curva *tanto*.

# Anexo núm. 5.

TROZO I.º

## ESTADO DE RASANTES.

| NÚMERO<br>DE ORDEN. | LONGITUD.<br>—<br><i>Metros.</i> | INCLINACIÓN POR METRO. |          | OBSERVACIONES. |
|---------------------|----------------------------------|------------------------|----------|----------------|
|                     |                                  | Subiendo.              | Bajando. |                |
| 1                   | 528                              | 0,026                  | »        |                |
| 2                   | 1.629                            | »                      | 0,035    |                |
| 3                   | 436                              | 0,009                  | »        |                |
| etc                 | etc.                             | etc.                   | etc.     |                |
|                     |                                  |                        |          |                |
| SUMA....            |                                  |                        |          |                |

## RESUMEN.

RESPECTO Á LONGITUDES.

|                       | Número. | SUMAS<br>de las<br>longitudes<br>parciales.<br>—<br><i>Metros.</i> |
|-----------------------|---------|--------------------------------------------------------------------|
| De 0 á 100 metros     |         |                                                                    |
| De 101 á 200 id.      |         |                                                                    |
| De 201 á 300 id.      |         |                                                                    |
|                       |         |                                                                    |
| <i>Sumas totales.</i> |         |                                                                    |

RESPECTO Á PENDIENTES.

|                  | Número. | SUMAS<br>de las<br>longitudes<br>parciales.<br>—<br><i>Metros.</i> |
|------------------|---------|--------------------------------------------------------------------|
| De 0,000 á 0,005 |         |                                                                    |
| De 0,005 á 0,010 |         |                                                                    |
| De 0,010 á 0,020 |         |                                                                    |
|                  |         |                                                                    |
|                  |         |                                                                    |

**Anexo núm. 6.****PERFILES GRÁFICOS DE LA CUBICACIÓN,  
CLASIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LAS EXCAVACIONES.**

NOTA. En la formación de estos perfiles se tendrá en cuenta para la distribución de los productos el aumento que resulta para las tierras ó rocas excavadas.

**PERFIL GRÁFICO NÚM. 1. (Lámina 9.<sup>a</sup>)****Volúmenes de desmonte y terraplén.**

La línea de contorno del perfil gráfico se determina de un modo análogo al usado para representar el perfil longitudinal del trazado de una carretera. Las distancias al origen de los perfiles y las parciales, se toman sobre la línea horizontal que sirve de eje. (La escala del modelo es de  $\frac{1}{5000}$ .) Las alturas de las ordenadas representan las áreas del desmonte ó del terraplén que se obtienen en cada perfil transversal; las de desmonte se toman sobre la línea de referencia, y por debajo de ella las de terraplén. La escala de las verticales que representan los metros cuadrados será, por lo general, mayor que la de las horizontales, á fin de que en este sentido no resulte un perfil en extremo exagerado, ó muy reducido en el vertical. En resumen, deberán combinarse las escalas de manera que el perfil sea suficientemente claro, y se obtenga la conveniente aproximación. El Ingeniero, si lo considera necesario, podrá variar las escalas en el mismo proyecto, y aun en el mismo trozo, según los casos. El procedimiento para calcular las áreas del perfil que representa los volúmenes, puede ser cualquiera de los conocidos, aplicándose con ventaja el planímetro.

La relación entre las escalas, horizontal y vertical, habrá de ser sencilla: en el modelo la escala vertical es de  $\frac{1}{500}$ , ó sea diez veces mayor que la de las horizontales.

Cuando al mismo transversal correspondan diversas clases de terreno, la ordenada total quedará dividida en tantas partes cuantas sean las clasificaciones, cuidando de colocar los segmentos en el mismo orden en todos los perfiles, á fin de obtener, por la unión de los puntos correspondientes, las áreas que representan los volúmenes de las di-

versas clases de terreno, anotando éstas en abreviatura ó designándolas con una letra ó signo convencional.

#### ANOTACIONES NUMÉRICAS.

En la parte inferior de cada perfil deberán consignarse el número de orden de los transversales, las distancias, y las áreas de desmonte y terraplén, en la forma que se ve en el modelo. Para cada desmonte comprendido entre dos puntos de paso inmediatos, se estamparán el número de metros cúbicos de cada clase que comprenda, y el total. En los terraplenes sólo se anotará el volumen total.

### PERFIL GRÁFICO NÚM. 2. (Lámina. 10.<sup>a</sup>)

#### Distribución y transportes de tierras.

Para mayor claridad, en vez de practicar la distribución sobre el perfil anterior, se copiará aparte con los datos indispensables al objeto.

#### VOLÚMENES SIN TRANSPORTE CORRESPONDIENTES Á PERFILES Á MEDIA LADERA.

Á partir del eje, se tomarán en cada perfil, sobre las ordenadas de desmonte, las correspondientes del terraplén, pero disminuídas en el aumento que las tierras sufren por la remoción, menos la reducción por el apisonado y compresión; relación que podrá variar con la naturaleza de los terrenos excavados. La parte del desmonte cubierta por el terraplén no tendrá precio de transporte. Igualmente se dejará sin precio de transporte la parte del desmonte que, en laderas escarpadas, corresponda á las tierras que se arrojen por la ladera, ó á las piedras que rueden por ella.

Se marcarán por líneas verticales, en cada desmonte, las partes de ellos que se destinen á formar terraplenes: determinando los centros de gravedad de las dos figuras, la distancia horizontal entre ambos será la de transporte.

#### ANOTACIONES NUMÉRICAS.

Los volúmenes totales de cada desmonte, y los de terraplén sin reducción. Los que de éste no tienen precio de transporte; los transpor-

tados y sus distancias medias; los utilizados en otras obras. La diferencia representará la parte del desmonte que va á caballeros, guarrismo que se anotará en el lugar correspondiente.

En igual forma se procederá con las excavaciones fuera de la línea para formar terraplenes, marcando los sitios del perfil á donde corresponden y la distancia media de transporte. Se tendrán en cuenta las mermas, según se hizo para los formados con los productos de los desmontes.

Los Ingenieros quedan autorizados, conservando los caracteres generales de los cuadros, á introducir en éstos cuantas reformas consideren convenientes á la mayor claridad y exactitud, así en lo que se refiere á la elección de escalas, como á la distribución de los datos en el cuadro.

Anexo núm. 7.

CLASIFICACION DEL VOLUMEN DE DESMONTE EN CADA TROZO SEGÚN LA NATURALEZA DEL TERRENO.

| TROZOS.    | EXCAVACIONES           |                        |                                                   |                        |                        | TOTALES POR TROZOS.    | OBSERVACIONES. |
|------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
|            | EN TIERRA              |                        | EN TERRENO DE<br>TRANSITO<br>DE TIERRA A<br>ROCA. | EN ROCA                |                        |                        |                |
|            | FRANCA.                | DURA.                  |                                                   | FLOJA.                 | DURA.                  |                        |                |
|            | <i>Metros cúbicos.</i> | <i>Metros cúbicos.</i> | <i>Metros cúbicos.</i>                            | <i>Metros cúbicos.</i> | <i>Metros cúbicos.</i> | <i>Metros cúbicos.</i> |                |
| 1.º .....  |                        |                        |                                                   |                        |                        |                        |                |
| 2.º .....  |                        |                        |                                                   |                        |                        |                        |                |
| 3.º .....  |                        |                        |                                                   |                        |                        |                        |                |
| 4.º .....  |                        |                        |                                                   |                        |                        |                        |                |
| SUMAS..... |                        |                        |                                                   |                        |                        |                        |                |

NOTA. El Ingeniero deberá detallar en la memoria las diferentes naturalezas del terreno que deben considerarse comprendidas en cada una de las cinco clases á que se refiere este estado.



## Anexo núm. 8.

TROZO NÚMERO.....

## CUBICACIÓN DE LAS OBRAS DE EXPLANACIÓN.

## Resumen y distribución.

|                                                                                                     | <u>Metros cúbicos.</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Desmontes. ....                                                                                     | Tanto.                 |
| Terraplenes.....                                                                                    | Tanto.                 |
| La parte del volumen del desmonte que puede emplearse en la ejecución de terraplenes es.....        | Tanto.                 |
| La que puede aprovecharse para otras obras.....                                                     | Tanto.                 |
| Y la que ha de colocarse en caballeros .....                                                        | Tanto.                 |
| La parte del terraplén que ha de ejecutarse con productos de excavaciones fuera de la línea es..... | Tanto.                 |

CUBICACIÓN DE LAS OBRAS DE FABRICA.

| DESIGNACIÓN DE CADA OBRA. | INDICACIÓN DE SUS PARTES<br>y de la clase de fábrica. | VOLUMEN<br>-<br>partes iguales | DIMENSIONES.              |                         |                                                 |                                                    |                                                     |                                                  | PESO.<br>-<br>Kilogramos. |                                                   |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
|                           |                                                       |                                | LINEALES.                 |                         |                                                 | SUPERFICIALES.                                     |                                                     | CUBIDAS.                                         |                           |                                                   |
|                           |                                                       |                                | Longitud.<br>-<br>Metros. | Lancha.<br>-<br>Metros. | Altura,<br>grueso ó<br>espesor.<br>-<br>Metros. | Partidas<br>ó cuadradas.<br>-<br>Metros cuadrados. | Totales<br>ó definitivos.<br>-<br>Metros cuadrados. | Partidas<br>ó cuadradas.<br>-<br>Metros cúbicos. |                           | Totales<br>ó definitivos.<br>-<br>Metros cúbicos. |
|                           |                                                       |                                |                           |                         |                                                 |                                                    |                                                     |                                                  |                           |                                                   |

- NOTAS.— 1.<sup>o</sup> En esta forma se presentará la cubicación de las fundaciones y la de todas aquellas obras en que el autor del proyecto se haya separado de la colección oficial.
- 2.<sup>o</sup> A esta misma forma deberán también sujetarse las cubicaciones de las obras cuyo proyecto definitivo se lleve á cabo cuando los trabajos se hallen en curso de ejecución, como los de fundaciones que hubieran de variarse.
- 3.<sup>o</sup> Se omitirá la cubicación de todas las partes de las obras de fábrica cuya medición se estampa en los modelos de la colección oficial; pero se indicará para cada una de ellas, en las dos primeras columnas, la clase de fábrica de que ha de construirse cada parte de la obra.
- 4.<sup>o</sup> Se expresarán las dimensiones lineales de todas las diversas partes de las obras, pero sólo se anotarán en las columnas respectivas las superficies, volúmenes ó pesos de las mismas obras, según que se abonen por superficie, volumen ó peso.
- 5.<sup>o</sup> Los muros no se sujetarán á este modelo cuando presenten diferencias notables en sus diversas secciones transversales: su cubicación se hará entonces por medio de un perfil gráfico como el de los movimientos de tierras.

Anexo núm. 10.

ESTADO DE LA CUBICACIÓN DEL FIRME.

| TROZOS.         | DESIGNACIÓN DE LAS CAPAS<br>y extensión que comprenden. | ALTURA Y GRUESO. |              |                   | ANCHO.<br>—<br>Metros. | LONGITUD.<br>—<br>Metros. | VOLUMEN<br>por<br>metro lineal.<br>—<br>Metros cúbicos. | VOLUMEN<br>total.<br>—<br>Metros cúbicos. | OBSERVACIONES. |
|-----------------|---------------------------------------------------------|------------------|--------------|-------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|
|                 |                                                         | Borden.          | Centro.      | Espesor<br>medio. |                        |                           |                                                         |                                           |                |
|                 |                                                         | —<br>Metros.     | —<br>Metros. | —<br>Metros.      |                        |                           |                                                         |                                           |                |
| 1. <sup>o</sup> |                                                         |                  |              |                   |                        |                           |                                                         |                                           |                |
| 2. <sup>o</sup> |                                                         |                  |              |                   |                        |                           |                                                         |                                           |                |
| 3. <sup>o</sup> |                                                         |                  |              |                   |                        |                           |                                                         |                                           |                |
| 4. <sup>o</sup> |                                                         |                  |              |                   |                        |                           |                                                         |                                           |                |

NOTA.—Se entiende por espesor medio el que corresponda teniendo en cuenta la curvatura del firme, y se calculará por la siguiente fórmula:  $\frac{1}{2}(2c + m)$ , siendo  $c$  y  $m$  los espesores en el centro y en los mordientes de la caja respectivamente.

## Anexo núm. 11.

TROZO.....

## CÁLCULO DEL PRECIO MEDIO DEL DESMONTE.

|                                                                                                                                             | <u>Ptas. Cts.</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tantos metros cúbicos de excavación en tierra franca, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                 | Tanto.            |
| Tantos en tierra dura, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                | Tanto.            |
| Tantos en terreno de tránsito de tierra á roca, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                       | Tanto.            |
| Tantos en roca floja, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                 | Tanto.            |
| Tantos en roca dura, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                  | Tanto.            |
| Tantos de productos de la excavación, depositados en caballeros, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                      | Tanto.            |
| Refino de taludes é indemnizaciones en tantos metros cúbicos, á tanto el metro cúbico.....                                                  | <u>Tanto.</u>     |
| Coste total del desmonte.....                                                                                                               | <u>Tanto.</u>     |
| Que dividido por el volumen de dicho desmonte, ó sea tantos metros cúbicos, resulta para el precio medio del desmonte en todo el trozo..... | <u>Tanto.</u>     |

NOTA.—Cuando se crea necesario reducir el refino á la faja inferior de los taludes, se incluirá esta operación por metro lineal de desmonte, en vez de hacerlo por metro cúbico.

## Anexo núm. 12.

TROZO.....

## CÁLCULO DEL PRECIO MEDIO DEL TERRAPLÉN.

|                                                                                                  | <u>Ptas. Cts.</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tantos metros cúbicos de productos de la excavación, transportados á tantos metros, á tanto..... | Tanto.            |

|                                                                                                                                                             | <u>Ptas. Cts.</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tantos, transportados á tantos metros, á tanto.....                                                                                                         | Tanto.            |
| .....                                                                                                                                                       |                   |
| .....                                                                                                                                                       |                   |
| Tantos metros cúbicos de excavación en zanjas de préstamo,<br>transporte de los productos é indemnización de perjuicios,<br>á tanto.....                    | Tanto.            |
| Tantos metros cúbicos de arreglo, consolidación y refino de<br>los terraplenes, á tanto.....                                                                | Tanto.            |
| Coste total del terraplén.....                                                                                                                              | <u>Tanto.</u>     |
| Que dividido por el volumen total del mismo terraplén, que<br>es de tantos metros cúbicos, resulta para el precio del<br>metro cúbico en todo el trozo..... | <u>Tanto.</u>     |

### Anexo núm. 13.

#### TROZO....

## CÁLCULO DEL PRECIO MEDIO DE LA APERTURA

### Y ARREGLO DE LA CAJA DEL FIRME.

|                                                                                                                                                      | <u>Ptas. Cts.</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Tantos metros lineales de apertura y arreglo de la caja en<br>tierra franca, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                   | Tanto.            |
| Tantos en tierra dura, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                         | Tanto.            |
| Tantos en terreno de tránsito, á tantas pesetas tantos cénti-<br>mos.....                                                                            | Tanto.            |
| Tantos en roca floja, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                          | Tanto.            |
| Tantos en roca dura, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                           | Tanto.            |
| Coste total de la apertura y arreglo de la caja.....                                                                                                 | <u>Tanto.</u>     |
| Que dividido por la longitud total de dicha caja, que es de<br>tantos metros, resulta para el precio medio del metro lineal<br>en todo el trozo..... | <u>Tanto.</u>     |

**Anexo núm. 14.**

TROZO.....

**CÁLCULO DEL PRECIO MEDIO DE LA APERTURA**

Y ARREGLO DE LAS CUNETAS.

|                                                                                                                                                    | Ptas. Cts.    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Tantos metros lineales de apertura y arreglo de las cunetas en tierra franca, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                | Tanto.        |
| Tantos en tierra dura, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                       | Tanto.        |
| Tantos en terreno de tránsito, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                               | Tanto.        |
| Tantos en roca floja, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                        | Tanto.        |
| Tantos en roca dura, á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                                                         | Tanto.        |
| Coste total de la apertura y arreglo de la cuneta.....                                                                                             | <u>Tanto.</u> |
| Que dividido por la longitud total de dichas cunetas, que es de tantos metros, resulta para el precio medio del metro lineal en todo el trozo..... | <u>Tanto.</u> |

**Anexo núm. 15.**

TROZO.....

**CÁLCULO DEL PRECIO DEL METRO LINEAL**

DE FIRME.

|                                                                                             | Ptas. Cts.    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Tantos metros cúbicos de piedra de tal clase, machacada, para la primera capa, á tanto..... | Tanto.        |
| Tantos de tal clase, machacada, para la segunda capa, á tanto.....                          | Tanto.        |
| Tantos metros cuadrados de extensión y arreglo del afirmado, á tanto.....                   | Tanto.        |
| Tantos metros cúbicos de recebo, colocado, á tanto.....                                     | Tanto.        |
| Consolidación (de tal modo).....                                                            | Tanto.        |
| Precio del metro lineal de firme.....                                                       | <u>Tanto.</u> |

## Anexo núm. 16.

## PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO

## DE LA ADMINISTRACIÓN.

## EXPROPIACIÓN.

|                                                 | <u>Pesetas.</u> | <u>Cts.</u> |   |
|-------------------------------------------------|-----------------|-------------|---|
| Tantas hectáreas de terreno de secano, á tanto. | Tanto.          |             | } |
| Tantas de regadío, á tanto.....                 | Tanto.          |             |   |
| Tantas de viñedo, á tanto.....                  | Tanto.          |             |   |
| .....                                           |                 |             |   |
| Tantos árboles, á tanto.....                    | Tanto.          |             |   |
| Edificios, etc.....                             | Tanto.          |             |   |
| Cercas ó cierres de propiedades.....            | Tanto.          |             |   |
| .....                                           |                 |             |   |
| Daños y perjuicios, tanto por 100.....          | Tanto.          |             |   |

## AGOTAMIENTOS.

|                                                                               |        |   |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|---|--------|
| Agotamientos para las fundaciones del puente tal,<br>en el kilómetro tal..... | Tanto. | } | Tanto. |
| Agotamientos en el pontón tal, kilómetro tal...<br>.....                      | Tanto. |   |        |

IMPORTE DEL PRESUPUESTO DE CONTRATA. Tanto.

Suma..... Tanto.

---

COSTE TOTAL POR KILÓMETRO..... Tanto.

---

## ADVERTENCIAS.

1.ª Como el objeto de este presupuesto es dar á la Administración una idea aproximada de la cantidad total que ha de invertir en la construcción de la carretera, se advierte que para fijar las partidas que constituyen el coste de la expropiación no hay necesidad de formar previamente los

expedientes que á ella se refieren, pues bastará que al tomar los datos en el campo, se tomen también los que crea necesarios: el autor del proyecto para poder determinar, con la posible aproximación, la cantidad que ha de invertirse en la expropiación.

2.ª Cuando los agotamientos sean de pequeña importancia y se considere oportuno incluirlos por partida alzada en el presupuesto de contrata, se hará así, estampando su importe en el presupuesto parcial de la obra correspondiente, y siempre bajo el epígrafe de *medios auxiliares*, á fin de que no se abone por ellos mayor cantidad que la consignada, con arreglo al art. 33.º del pliego de condiciones generales y el (48) de las facultativas. Estos agotamientos no deben figurar expresamente en este presupuesto para conocimiento de la Administración, pues ya se hallan incluidos en el de contrata.

3.ª Los agotamientos que deben figurar en el presupuesto que antecede son aquéllos que hayan de hacerse por la Administración en la forma que previene el art. 37.º del pliego de condiciones generales y que se habrán mencionado en el pliego de condiciones de la carretera, según se advierte en el artículo que lleva el epígrafe *Fundaciones*.





(Cubierta de los Planos.)

PROYECTO DE CARRETERA DE . . . . . ORDEN

DE . . . . . Á . . . . . POR . . . . .



DOCUMENTO NÚMERO 2.



PLANOS.



ÍNDICE.

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Hoja 1. <sup>a</sup> ..... | ..... |
| Hoja 2. <sup>a</sup> ..... | ..... |
| Hoja 3. <sup>a</sup> ..... | ..... |
| Etcétera.....              | ..... |



(Cubierta de los Planos.)

PROYECTO DE CARRETERA DE . . . . . ORDEN

DE . . . . . Á . . . . . POR . . . . .



DOCUMENTO NÚMERO 2.



PLANOS.



ÍNDICE.

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Hoja 1. <sup>a</sup> ..... | ..... |
| Hoja 2. <sup>a</sup> ..... | ..... |
| Hoja 3. <sup>a</sup> ..... | ..... |
| Etcétera.....              | ..... |



## ADVERTENCIAS

## RELATIVAS Á LOS PLANOS.

Estos documentos deberán comprender:

1.º Un plano de detalle para cada trozo, en escala que no baje de  $\frac{1}{4000}$ . En él se representará la topografía del terreno en una zona más ó menos extensa según las circunstancias y siempre por medio de curvas á nivel, señalando todos los elementos del trazado con sujeción al modelo que se acompaña (1).

2.º Un perfil longitudinal de cada trozo. Su escala será la misma del plano para las longitudes, y diez veces mayor para las alturas. Se dibujará en la forma y con las condiciones del modelo adjunto (2).

3.º Perfiles transversales de cada trozo en número suficiente para calcular el volumen de la explanación. La escala será de  $\frac{1}{200}$ , y se dibujarán con arreglo al modelo que se acompaña á continuación (3). Todos ellos se incluirán en la copia del proyecto que debe remitirse á la Dirección general. Los perfiles transversales habrán de dibujarse de modo que no haya que desdoblar, para examinarlos, la hoja continua de papel tela en que están dibujados; lo que se consigue haciendo que cada columna de perfil ocupe el ancho de una de las caras en que la tira queda dividida por los dobleces que en ella hay que hacer para plegarla al tamaño de medio pliego de papel de marca ordinaria, según se previene en la octava de las instrucciones que preceden á los formularios.

4.º Planos particulares de pasos difíciles. Se formarán estos planos siempre que el terreno, por ser muy quebrado en algunos puntos, requiera en ellos un estudio especial, bien para justificar la elección del trazado, ó bien para presentar detalles que no puedan ser apreciados con suficiente claridad en el plano del trozo correspondiente. Todos estos planos se presentarán en la escala que se juzgue más conveniente, según los casos, á juicio del Ingeniero.

5.º Planos particulares de las travesías de los pueblos por donde pase el trazado: en estos planos se dibujará de negro todo lo existente y de carmín las líneas del proyecto. La escala será de  $\frac{1}{1000}$ , ó mayor si lo creyere conveniente el autor del proyecto.

6.º Planos de obra de fábrica. Para disminuir el trabajo de los Ingenieros en esta parte, podrán aplicarse los modelos de la colección oficial, así como para las casillas de peones camineros, y sin necesidad de remitir los dibujos, haciendo sólo expresión del número del modelo, si bien se

(1) Lámina 11.ª

(2) Lámina 12.ª

(3) Lámina 13.ª

acompañarán, respecto de las casillas, los perfiles del terreno ó sitio en que se hayan de situar, con representación de las cimentaciones. Á estos modelos podrán sujetar los Ingenieros los proyectos de las obras de fábrica, siempre que por razones especiales no crean conveniente adoptar otros: en tal caso deberán exponer las consideraciones que les hayan movido á ello. En caso de redactar proyecto especial, será éste en forma análoga á la de los modelos, y entonces se presentarán los planos en escala de  $\frac{1}{100}$  para los alzados, plantas y secciones longitudinales y transversales, y de  $\frac{1}{50}$  ó  $\frac{1}{10}$  para los detalles, acotándose todas las dimensiones, acompañando la cubicación y detallando minuciosamente las fundaciones.

7.º Secciones del camino en escala de  $\frac{1}{50}$ , en que se comprendan todos los casos y marquen, acotándolas, las dimensiones de la caja, las generales del firme, las parciales de cada una de las capas, las latitudes de los paseos, las formas y dimensiones de las secciones, máxima, mínima y media de las cunetas y los taludes de los desmontes y terraplenes, según la naturaleza de las tierras.

8.º Se presentará el plano de cada trozo en una sola hoja de la longitud necesaria; en otra el perfil longitudinal, y en una ó varias los perfiles transversales correspondientes. Ninguna de las hojas se coserá con las demás para que así puedan, con facilidad, tenerse á la vista simultáneamente todos los datos de un mismo trozo que sea preciso compulsar. La anchura de todas estas hojas será la misma é igual á 32 centímetros. Si esta anchura no fuese suficiente para la representación del plano de una manera continua, se interrumpirá el dibujo limitándolo en una recta, convenientemente dispuesta y oblicua respecto á la anchura, y se trazará su simétrica por el punto en que corte al borde inferior ó al superior de la hoja, dejando en blanco el espacio angular comprendido entre ambas; y trazando su bisectriz se proseguirá el dibujo desde la segunda recta, considerada como de coincidencia con la primera, tomando como punto común el vértice del ángulo. Si por ser muy grandes los desniveles no cupiese el perfil longitudinal en el papel de 32 centímetros, se bajará paralelamente á sí misma la parte que fuese preciso, escribiendo, sin embargo, en las cotas los verdaderos valores numéricos deducidos de la nivelación.

En todas las hojas de planos se trazarán la escala ó escalas á que se refieren los diseños, poniendo al pie una explicación de los signos convencionales que se hayan adoptado para la representación de los objetos principales que tengan relación con el proyecto.

*Cada hoja de planos terminará con las indicaciones siguientes:*

Sello.

Fecha.

EXAMINADO.

El Ingeniero Jefe.

(Media firma.)

El Ingeniero autor del proyecto.

(Firma entera.)

## PLANOS QUE DEBEN ACOMPAÑARSE.

---

Planos de los trozos. (Véase lám. 11.<sup>a</sup>)

Perfiles longitudinales de los trozos. (Véase lám. 12.<sup>a</sup>)

Perfiles transversales de los trozos. (Véase lám. 13.<sup>a</sup>) (1).

Planos de las obras de fábrica especiales.

Planos particulares de pasos difíciles.

Planos de las travesías.

Secciones transversales de la carretera.

(1) En cada perfil transversal se escribirá el número de metros cuadrados que contenga.





(Cubierta del Pliego de condiciones.)

PROYECTO DE CARRETERA DE . . . . ORDEN

DE . . . . A . . . . POR . . . .



DOCUMENTO NÚMERO 3.



PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS.

## ADVERTENCIAS.

1.<sup>a</sup> Los números de orden que entre paréntesis se marcan para denotar los diversos artículos, sólo tienen por objeto facilitar la inteligencia del modelo. Por consiguiente, no son obligatorios para los proyectos, cuyas condiciones seguirán una numeración correlativa, teniendo en cuenta las supresiones ó adiciones que convenga hacer en cada caso particular, porque el modelo no es una pauta invariable á que ha de sujetarse la redacción de este documento, sino una enumeración de los principales artículos que ha de contener.

2.<sup>a</sup> Los números de los artículos serán árabes, y en los artículos que llevan más de un párrafo se distinguirán con letras minúsculas, y por orden alfabético, los párrafos distintos.

3.<sup>a</sup> En los capítulos III y IV se cuidará de dar á los artículos fijados en los mismos toda la extensión necesaria para que cumplan con su objeto, según las obras á que se refieran, y deberán aumentarse artículos en el número que lo exijan la variedad y la importancia de dichas obras, todo para cumplir el espíritu en que están concebidos los epígrafes de los capítulos referidos.

**PLIEGO** de condiciones facultativas que, además de las generales aprobadas en 11 de Junio de 1886, deberán regir en la ejecución de las obras de la carretera de..... orden de.....

## CAPÍTULO I.

### Descripción de las obras.

#### ARTÍCULO (1).

EXPLANACIÓN. El ancho de la carretera será de (*tantos metros y tantos centímetros*), distribuídos en la forma siguiente: (*tantos metros y tantos centímetros*) para el firme, y (*tantos metros y tantos centímetros*) para los dos paseos.

—  
*Forma y dimensiones.*

La inclinación de éstos hacia el borde exterior será de (*aquí la inclinación*).

#### ARTÍCULO (2).

*Caja.* La caja tendrá (*tantos*) centímetros de profundidad, y su forma será (*en este artículo se expresarán la forma y dimensiones de la caja según el proyecto, así como las modificaciones que por circunstancias especiales se hayan introducido en aquélla*).

#### ARTÍCULO (3).

*Cunetas.* En este artículo se expresarán la forma que deberán tener las cunetas, según la naturaleza del terreno en que hayan de ser abiertas, y las dimensiones máximas, mínimas y medias que deben darse al perfil variable de dichas cunetas, para lo cual tendrá presente el Ingeniero la cantidad de aguas que hubieren de recoger. Si las dimensiones de las cunetas hubiesen de ser constantes en toda la longitud de un trozo, se expresará así.

## ARTÍCULO (4).

*Taludes de los desmontes y terraplenes.*

Los taludes de los desmontes y terraplenes tendrán la inclinación correspondiente á la naturaleza del desmonte ó terraplén que señala el perfil tipo para cada clase de terreno. Deberá, sin embargo, el contratista someterse á lo que el Ingeniero le prescriba, precisamente por escrito, si por la naturaleza del desmonte ó terraplén fuese conveniente variar los taludes durante la ejecución de las obras, ó establecerlos en un mismo perfil con diferente inclinación, según fuese la naturaleza de las diversas capas de terreno que se encuentren.

## ARTÍCULO (5).

OBRAS DE FÁBRICA.

Las formas, dimensiones y materiales de las obras de fábrica y de sus diferentes partes se arreglarán en un todo á lo que se detalla en los planos y estados de cubicación. (*Aquí se designará la clase de fábrica de cada una de las partes de las obras.*)

## ARTÍCULO (6).

AFIRMADO.

(a). El firme tendrá la forma que se detalla en los planos y se compondrá de (*tantas*) capas: la primera de (*tantos*) centímetros de espesor en el centro y (*tantos*) en los mordientes de la caja, y la segunda de (*tantos*) centímetros en el centro y (*tantos*) en los mordientes. Estas dimensiones son las que deberá tener el firme en la recepción provisional.

(b). Encima de la última capa de piedra se extenderá otra de recebo en cantidad bastante para rellenar los huecos é igualar la cara superior del firme.

*Si se propusiese una sola capa de piedra para el firme, se darán detalles análogos, variando convenientemente la redacción del artículo.*

## ARTÍCULO (7).

OBRAS ACCESORIAS.

(a). Se entiende por obras accesorias: los empedrados, rastrojos, muretes y muros de contención de los desmontes, cuando no estuviesen previstos en el proyecto; zanjas ó cunetas de coronación y desagüe; rectificaciones y desvíos de cauce; caminos pro-

visionales en los puntos en que los existentes sean ocupados por las obras; rampas de servidumbres para las propiedades colindantes ó para los caminos que crucen la carretera; cercas de heredades, si no se hubieren incluido en el expediente de expropiación; malecones y guardarruedas, postes kilométricos, divisorios de provincias, indicadores y demás obras de importancia secundaria, ó que por su naturaleza no puedan ser previstas en todos sus detalles, sino á medida que avance la ejecución de los demás trabajos.

(b). Las obras accesorias se construirán con arreglo á los proyectos particulares que se formen durante la construcción de la carretera, según se vaya conociendo su necesidad, y quedarán sujetas á las mismas condiciones que rigen para las análogas que figuran en la contrata con proyecto definitivo.

## CAPÍTULO II.

### Condiciones á que deberán satisfacer los materiales y su mano de obra.

#### ARTÍCULO (8).

##### EXPLANACIÓN.

— *En este artículo se expresará si hay alguna clase de productos de excavaciones, dentro ó fuera de la línea, que no sea admisible para formar terraplenes ó pedraplenes, tales como fango, arena, raíces, etc.*

*Condiciones para los materiales de que se han de hacer los terraplenes.*

#### ARTÍCULO (9).

##### OBRAS DE FÁBRICA.

##### Sillería.

— *En este artículo se especificará lo concerniente á las dimensiones, calidad y condiciones á que ha de satisfacer la piedra que haya de emplearse en sillería, así como los requisitos que se exijan en la mano de obra de su preparación, tales como la labra y dimensiones mínimas de los sillares en soga, tizón y altura.*

#### ARTÍCULO (10).

##### Sillarejo, mampostería, ladrillo, etc.

— *En varios artículos se expresará todo lo relativo á la calidad, dimensiones, labra y preparación de la piedra, sillarejo, mamposterías con mortero, bien sean concertadas, careadas ú ordinarias, ladrillo,*

*mampostería en seco, etc.; pudiendo separarse en esta última fábrica la de los paramentos de la del resto de la obra si se creyese oportuno.*

## ARTÍCULO (11).

*Cales, cementos, maderas, hierro y demás materiales aplicables á todas las obras comprendidas en el proyecto.*

*En varios artículos y con separación se consignará cuanto se refiera á la calidad de estos materiales y á su elaboración ó mano de obra.*

## ARTÍCULO (12).

*Morteros y hormigones.*

*Según la naturaleza de las cales y objeto de las mezclas, se detallarán en varios artículos su composición, manipulación y modo de usarlas en las diferentes obras; añadiendo al final que deberán ensayarse si lo juzga necesario el Ingeniero.*

## ARTÍCULO (13).

**FIRME.**

*Circunstancias que deberá llenar la piedra para el firme y acopios, si es ó no admisible el canto rodado, y en caso afirmativo, sus dimensiones mínimas.*

*Calidad de la piedra para el firme y acopios.*

## ARTÍCULO (14).

*Machaqueo.*

*En este artículo se expresará el tamaño á que deba quedar reducida, por el machaqueo, la piedra ó canto rodado de cada una de las capas, según su calidad; cuando se emplee cascajo se detallarán las operaciones que deben hacerse con él, y lo mismo con el canto rodado.*

## ARTÍCULO (15).

*Recebo.*

*Calidad y condiciones del recebo.*

## ARTÍCULO (16).

**CASO EN QUE  
LOS MATERIA-  
LES NO SEAN  
DE  
CONDICIONES.**

Quando los materiales no satisfagan á lo que para cada uno en particular se determina en los artículos anteriores, el contratista se atenderá á lo que sobre este punto le ordene por escrito el Ingeniero encargado de la carretera, para el cumplimiento de lo pre-

ceptuado en los respectivos artículos del presente pliego y en el 24.º del de condiciones generales.

### CAPÍTULO III.

#### Ejecución de las obras.

##### ARTÍCULO (17).

OBRAS  
DE TIERRA.

—  
*Desmontes.*

Los productos de los desmontes que no emplee el contratista en la ejecución de los terraplenes, pedraplenes ó en otras obras, se colocarán en caballeros á la distancia del escarpe que determine el Ingeniero, ó se apilarán en la inmediación de la obra, en el sitio que designe el mismo, donde quedarán á disposición de la Administración.

##### ARTÍCULO (18).

*Terraplenes  
y pedraplenes.*

(a). Los terraplenes se construirán por tongadas de tantos centímetros de espesor.

(b). *En este párrafo se describirá la ejecución de los pedraplenes, según que hubieren de construirse con piedra solamente, ó con piedra mezclada con tierras, indicando las prescripciones especiales que sean del caso.*

(c). El contratista no podrá proceder á la extensión del firme sobre los terraplenes y pedraplenes hasta que se hallen bien consolidados á juicio del Ingeniero. Para consolidarlos (*aquí se expresarán los medios que á este efecto hayan de emplearse en los casos en que por la naturaleza de los materiales con que dichas obras han de ejecutarse, ó por la altura que tuvieren, sea preciso apelar á la consolidación artificial*).

##### ARTÍCULO (19).

*Zanjas de  
préstamos.*

En los casos en que se ejecuten los terraplenes con préstamos procedentes de zanjas abiertas á los costados de la carretera, el Ingeniero dictará las disposiciones necesarias para que dichas zanjas se abran con la profundidad é inclinación convenientes, á fin de evitar encharcamientos; y siempre se dejará sin excavar



desde el pie de los taludes del terraplén una zona ó berma que no bajará de un metro, y que será tanto mayor cuanto mayor sea la altura del terraplén. En todo caso, el ancho de la berma se fijará por el Ingeniero.

## ARTÍCULO (20).

*Distribución de los productos de los desmontes hechos dentro de la línea.*

El contratista queda en libertad de distribuir los productos de los desmontes hechos dentro de la línea para la ejecución de terraplenes ó pedraplenes en la forma que mejor le convenga; sujetándose, sin embargo, á lo que establecen el art. 23.º del pliego de condiciones generales, y estas facultativas, cuando resulten aquellos aprovechables.

## ARTÍCULO (21).

*Caballeros.*

Los productos de desmontes que hayan de quedar formando caballeros, distarán, por lo menos, un metro de la arista superior de la explanación: esta distancia será tanto mayor cuanto mayor sea la altura de los productos depositados y menor la consistencia del terreno sobre el que se formen los caballeros, y en todo caso será marcada por el Ingeniero.

## ARTÍCULO (22).

*Cunetas.*

Las cunetas se abrirán sólo por el lado del desmonte cuando la explanación esté cortada á media ladera, y por ambos lados cuando lo esté en trinchera, ó cuando se halle establecida sobre el terreno natural y éste no tenga inclinación transversal suficiente para que corran las aguas.

## ARTÍCULO (23).

*Refino de las obras de tierra.*

El refino de las obras de tierra se hará después de terminada la carretera y poco antes de verificarse la recepción provisional. Los refinos de los terraplenes sólo afectarán á la arista y á una zona cuyo ancho designará el Ingeniero, pero que no excederá de un metro á partir de la arista, y se medirá en sentido de la línea de máxima pendiente del talud. Estos refinos se harán siempre recortando y no recreciendo, para lo cual habrán de darse á las explanaciones la anchura y taludes iniciales que sean necesarios.

## ARTÍCULO (24).

OBRAS  
DE FÁBRICA.*Replanteo.*

(a). El Ingeniero, ó subalterno afecto á la carretera, cuando no se trate de obras de importancia, hará sobre el terreno el replanteo de las de fábrica, marcando el emplazamiento de las zanjas, las cuales, después de abiertas, deberán ser reconocidas por el Ingeniero ó subalternos, sin cuya autorización no podrá el contratista rellenarlas para formar el cimiento de la obra; el Ingeniero ó subalterno correspondiente hará también el replanteo de la obra sobre las fábricas que rellenen las zanjas, y deberá el contratista obtener autorización escrita para sentar la primera hilada de zócalo.

(b). En las obras de importancia, ó cuando las dificultades de la cimentación lo exijan, se extenderá acta del reconocimiento, que firmarán el Ingeniero y el contratista, y en la cual deberán constar todas las circunstancias en que se encontraba el terreno al dar principio á la cimentación, sin perjuicio de formar los planos y perfiles á que se refiere el art. 60.º de las condiciones generales.

## ARTÍCULO (25).

*Fundaciones.* En este artículo se expresará todo lo relativo á la ejecución de los cimientos, tales como se hubieren proyectado, pudiendo dedicar á este asunto mayor número de artículos, si así lo exigiera su importancia, teniendo en cuenta que estas prescripciones deben ser lo más minuciosas posible cuando las fundaciones sean artificiales ó cuando exijan operaciones difíciles para llegar al terreno firme, y que siempre habrán de expresarse los casos en que los agotamientos hayan de hacerse por administración, con arreglo al art. 37.º del pliego de condiciones generales, y los en que dichos agotamientos hayan de ser de cuenta del contratista, consignándose que éste habrá de profundizar la excavación para los cimientos hasta encontrar el terreno conveniente.

## ARTÍCULO (26).

*Fundaciones  
no previstas.*

Si del reconocimiento practicado al abrir las zanjas resultase la necesidad de variar el sistema de fundaciones propuesto, el Ingeniero formará los proyectos respectivos, sobre los cuales deberá recaer la aprobación superior, sin perjuicio de proceder desde lue-

go con arreglo á las atribuciones que los Ingenieros tienen en la actualidad, ó que se les confieran en lo sucesivo por los reglamentos é instrucciones del servicio.

## ARTÍCULO (27).

*Ejecución de la fábrica de sillería.*

*En este artículo se expresará todo lo concerniente á la ejecución de la sillería de las obras de fábrica, manifestando el sistema de asiento, grueso de juntas, extensión del contacto perfecto de los sillares, ó sea el cuajado de dichas juntas, y reglas de buena construcción que en esta parte han de tenerse en cuenta.*

## ARTÍCULO (28).

*Ejecución de las fábricas de sillarejo, mampostería, ladrillo, etc.*

*En varios artículos se expondrá, análogamente á lo expresado en el artículo anterior, todo lo relativo á las obras de sillarejo, mampostería de todas clases, ladrillo, etc.*

## ARTÍCULO (29).

*Tingadas de tierra sobre las bóvedas.*

Entre el firme de la carretera y el trasdós de las bóvedas, deberá extenderse una capa de tierra apisonada de tantos centímetros de espesor por lo menos.

## ARTÍCULO (30).

*Descimbramiento.*

No podrá el contratista proceder al descimbramiento de los arcos sin que preceda autorización escrita del Ingeniero, ni colocar la imposta de coronación y antepecho hasta después de verificado el descimbramiento.

## ARTÍCULO (31).

*Retundido y revoque de juntas.*

El retundido y revoque de juntas y el recorrido de las fábricas se harán después de terminadas las obras, poco antes de verificarse la recepción provisional.

## ARTÍCULO (32).

**FIRME.** — No podrá el contratista extender ninguna de las capas del firme, ni la de recebo, sin que el Ingeniero, después de reconocida y aprobada la anterior, dé autorización por escrito, y sin que para la primera se haya recorrido de niveleta y perfilado la caja. No por esto se entenderá que se dan por recibidas las obras ó capas del firme sobre que se ha de extender la que es objeto de la autorización.

*Orden de ejecución.*

## ARTÍCULO (33).

*Consolidación del firme.* En este artículo se designará el medio de consolidación del firme, especificando, en el caso de usarse el cilindro, si ha de pasar sobre cada capa de piedra separadamente ó sólo sobre la superior después de extendidas todas. También se indicará si el recebo ha de extenderse por los paseos, y cuántas veces deberá pasar el cilindro sobre él y cada una de las capas, así como la carga constante ó variable que ha de tener el cilindro. Deberá asimismo expresarse quién ha de facilitar el cilindro, y en caso de que sea la Administración, consignar que el contratista está obligado á su conservación y á ejecutar en él todas las reparaciones necesarias para devolverlo en buen estado después de terminadas las obras.

## ARTÍCULO (34).

*Obras especiales.* (Se agregarán todos aquellos artículos que se refieran á la ejecución de alguna de las obras especiales que comprende la contrata y que por sus condiciones particulares merezca detallarse.)

## CAPÍTULO IV.

## Medición y abono de las obras.

## ARTÍCULO (35).

*Modo de abonar las excavaciones.* Los desmontes se abonarán por su volumen al precio de (tantas pesetas) el metro cúbico, que señala el presupuesto, cualesquiera que sean la naturaleza del terreno y la distancia á que hayan de conducirse los productos de la excavación, sea á depósitos ó á

caballeros, pues en este precio se halla incluído el coste de todas las operaciones necesarias para hacer la excavación y el coste de la ocupación de los terrenos, si la hubiese.

## ARTÍCULO (36).

*Modo de abonar los terraplenes y pedraplenes.*

Los terraplenes y pedraplenes se abonarán por su volumen al precio invariable de (*tantas pesetas*) el metro cúbico, que fija el presupuesto, sean las que quieran las procedencias de las tierras ó piedras en ellos empleadas, y las distancias á que unas y otras se hayan transportado: en este precio está incluído el coste de todas las operaciones necesarias para ejecutar el metro cúbico de terraplén ó pedraplén, así como también la apertura de las zanjas de préstamo y la indemnización de los daños que con ellas se ocasionen.

## ARTÍCULO (37).

*Definiciones relativas á las obras del movimiento de tierras.*

Para el efecto de estas condiciones se entiende por metro cúbico de desmonte el volumen correspondiente á esta unidad, referido al terreno tal como se encuentra en donde se haya de excavar; y por metro cúbico de terraplén ó pedraplén el que corresponde á estas obras después de ejecutadas y consolidadas con arreglo á lo que se previene en estas condiciones.

## ARTÍCULO (38).

*Lo que comprende el precio del metro cúbico de excavación.*

En el precio del metro cúbico de excavaciones está comprendido el coste de la tala, corte y descuaje del monte, raíces y toda clase de vegetación.

## ARTÍCULO (39).

*Refino de las excavaciones.*

En los precios de la unidad cúbica de excavaciones y terraplenes ó pedraplenes está incluído el coste del refino de los taludes de las explanaciones de todas clases.

## ARTÍCULO (40).

*Modo de abonar las cunetas.*

El precio que se señala al metro lineal de apertura de cunetas corresponde á la sección media que se ha adoptado en el

proyecto; por consiguiente, según lo disponga el Ingeniero, las dimensiones de la cuneta podrán variar en más ó en menos, dentro de los límites que establece el art. (3), sin que por ello pueda alterarse dicho precio.

## ARTÍCULO (41).

*Abono de la extracción de los productos de los desprendimientos.*

(a). Además de las obras comprendidas en el proyecto, se abonarán al contratista, con arreglo á los precios ó partidas especiales consignadas al efecto en el presupuesto, todas las operaciones necesarias para dejar los desmontes limpios de las materias desprendidas de los taludes, y transportar estas materias al terraplén inmediato ó á caballeros, según lo disponga el Ingeniero, siempre que dichos desprendimientos sean debidos á movimiento evidente de los terrenos y no á faltas cometidas por el contratista en cuanto al cumplimiento de las condiciones que fijan el modo de ejecución de las obras.

(b). De igual modo se abonará, en su caso, el trabajo de dividir los cantos desprendidos que no sean transportables sin esta operación.

## ARTÍCULO (42).

*Definición del metro cúbico de obra de fábrica.*

Se entiende por metro cúbico de cualquier clase de fábrica el metro cúbico de la obra ejecutada y completamente terminada con arreglo á condiciones. Los precios estampados en el cuadro correspondiente del presupuesto que está señalado con el núm. 1, se refieren al metro cúbico definido de esta manera, cualquiera que sea la procedencia de los materiales.

## ARTÍCULO (43).

*Maderas para cimbras y andamios.*

En el precio del metro cúbico de madera para cimbras y andamios, cuando estos medios auxiliares de construcción se detallen en los planos y el presupuesto, en vez de incluirlos en partida alzada, se comprenden los gastos de transporte de dicho material al pie de obra, el trabajo de su empleo, los desperfectos que el mismo material pueda sufrir y la demolición de esta construcción au-

xiliar, entendiéndose que, mientras otra cosa no se exprese, el material después de su uso queda de propiedad del contratista (1).

## ARTÍCULO (44).

*Maderas para obras definitivas, herrojes y otros materiales análogos.*

El precio de las maderas, hierros y demás materiales análogos que han de emplearse en obras definitivas, comprende el coste de adquisición al pie de obra de dichos materiales, su labra y su colocación ó asiento, con arreglo al proyecto: por lo tanto, en el precio expresado se hallan comprendidos el transporte, carga, descarga, tiempo perdido y demás operaciones secundarias.

## ARTÍCULO (45).

*Apertura de caja para el firme.*

En el precio de apertura de caja para el firme está comprendido el coste de la excavación necesaria, el de recorrido de nivelleta y el del refino.

## ARTÍCULO (46).

*Modo de abonar el metro lineal de afirmado.*

(a). El firme se abonará por metro lineal de carretera al precio que para esta unidad marca el presupuesto. Este precio comprende todas las operaciones necesarias para ejecutar y consolidar el firme con estricta sujeción á las prescripciones del art. (6) del presente pliego, y es invariable cualesquiera que sean la naturaleza y procedencia de los materiales empleados y las distancias de transporte.

(b). Si alguna circunstancia especial obligase á modificar la sección transversal del firme, el precio del metro lineal variará en la misma relación que varíe la superficie de la sección transversal.

(1) Conforme se indicó en la pág. 390, se ha modificado algún tanto la redacción de este artículo, que en el texto oficial dice así: «En el precio del metro cúbico de madera para cimbras y andamios, cuando estos medios auxiliares de construcción se detallan en los planos y el presupuesto, en vez de incluirlos en partidaalzada, se comprenden el coste de *adquisición de dicho material*, los gastos de su transporte al pie de obra, el trabajo de su empleo, los desperfectos que el mismo material pueda sufrir y la demolición de esta construcción auxiliar, entendiéndose, etc.»

## ARTÍCULO (47).

*Modo de abonar los acopios de conservación.*

Los acopios de conservación se abonarán por el volumen que resulte en las pilas ó por medio del cajón métrico, á los precios que para el metro cúbico de estos materiales se fije en el presupuesto: estos precios son invariables, y comprenden todas las operaciones que ha de ejecutar el contratista para dejar los materiales acopiados al pie de obra, en la forma que prescriba el Ingeniero.

## ARTÍCULO (48).

*Partidas para medios auxiliares.*

(a). En ningún caso se abonará al contratista, en concepto de medios auxiliares, cantidad alguna diferente de la que se stampa en los presupuestos parciales, entendiéndose que este abono se hará siempre con la baja del remate.

(b). Para las obras en que no consten por separado las partidas correspondientes á los medios auxiliares de la construcción, se sobrentiende que los gastos que ocasionen estos trabajos están incluidos en los precios de las unidades de obra.

## ARTÍCULO (49).

*Partidas alzadas, que se abonan íntegras al contratista.*

(a). Se abonarán íntegras sin aumento alguno, pero con sujeción á la baja del remate, las partidas alzadas que en el artículo del presupuesto titulado «Obras accesorias» se fijan para daños y perjuicios por tránsito inevitable por algunas partes de la carretera en construcción, y para habilitación ó ejecución de caminos provisionales que eviten este tránsito.

(b). De la misma manera se abonarán las partidas consignadas para la conservación de obras de tierra, de fábrica y mano de obra de conservación del firme, así como para la extracción de escombros y desprendimientos que tengan lugar durante el plazo de garantía por desperfectos superficiales y ordinarios de los taludes.

(c). Cuando no se hayan incluido en el presupuesto partidas alzadas para estos objetos, se entiende que su importe se halla incluido en el precio de las unidades de las obras respectivas.



## ARTÍCULO (50).

*Modo de abonar las obras concluidas y las incompletas.*

(a). Las obras concluidas se abonarán con arreglo á los precios designados en el cuadro núm. 1 del presupuesto.

(b). Cuando por consecuencia de rescisión ó por otra causa fuese preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del cuadro núm. 2, sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra fraccionada en otra forma que la establecida en dicho cuadro.

(c). En ninguno de estos casos tendrá derecho el contratista á reclamación alguna, fundada en la insuficiencia de los precios de los cuadros, ó en omisiones del coste de cualquiera de los elementos que constituyen los referidos precios.

## ARTÍCULO (51).

*Modo de abonar las obras defectuosas, pero aceptables.*

Si alguna obra que no se halle exactamente ejecutada con arreglo á las condiciones de la contrata fuese, sin embargo, admisible, podrá ser recibida provisional y definitivamente en su caso; pero el contratista quedará obligado á conformarse, sin derecho á reclamación de ningún género, con la rebaja que la Administración apruebe, salvo el caso en que el contratista prefiera demolerla á su costa y rehacerla con arreglo á las condiciones de la contrata.

## ARTÍCULO (52).

*Condiciones para fijar precios contradictorios en obras no previstas.*

Si ocurriese algún caso excepcional é imprevisto en el cual sea absolutamente necesaria la designación de precio contradictorio entre la Administración y el contratista, este precio deberá fijarse con arreglo á lo establecido en las condiciones generales. La fijación del precio habrá de hacerse precisamente antes de que se ejecute la obra á que hubiere de aplicarse; pero si por cualquiera causa hubiese sido dicha obra ejecutada antes de llenar este requisito, el contratista quedará obligado á conformarse con el precio que para la misma señale la Administración.

## ARTÍCULO (53).

*Relaciones  
valoradas men-  
suales.*

El Ingeniero formará, antes del día quince de cada mes, una relación valorada de las obras ejecutadas en el anterior, con sujeción al cuadro núm. 2 de precios elementales del presupuesto. El contratista, que podrá presenciar las operaciones preliminares para extender esta relación, tendrá un plazo de diez días para examinarla, y dentro de él deberá consignar su conformidad ó hacer, en caso contrario, las reclamaciones que considere convenientes.

## ARTÍCULO (54).

*Resoluciones  
respecto de las  
reclamaciones  
del contratista.*

El Ingeniero encargado de la carretera transmitirá al Ingeniero Jefe las relaciones valoradas de que trata el artículo anterior, con las reclamaciones que hubiese hecho el contratista, acompañando su informe acerca de éstas. El Ingeniero Jefe, reconociendo las obras que comprendan las relaciones, si á su juicio lo requiere así la importancia del caso, aceptará ó desechará la no conformidad ó reclamaciones que en aquéllas hubiese consignado el contratista.

Éste, en todo caso, podrá reclamar ante la Dirección general de Obras públicas contra la resolución del Ingeniero Jefe.

## ARTÍCULO (55).

*Remisión de  
las certifica-  
ciones á la Direc-  
ción general.*

Las certificaciones mensuales de las obras ejecutadas se remitirán á la Dirección general de Obras públicas dentro del mes siguiente al en que se hubieren ejecutado las obras á que correspondan.

## CAPÍTULO V.

## Disposiciones generales.

## ARTÍCULO (56).

*Plazo de ga-  
rantía.*

El tiempo de garantía será (*aquí el tiempo en meses*); durante este período serán de cuenta del contratista todas las obras de con-

servación y reparación que sean necesarias en las explicaciones, obras de fábrica, afirmado y demás que comprende la contrata.

ARTÍCULO (57).

*En este artículo se fijarán las reglas que convenga para cumplir lo prescrito en el art. 55.º de las condiciones generales, relativo al orden de ejecución de los trabajos.*

ARTÍCULO (58).

*Prórroga del plazo de garantía.*

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de alguna obra no se encontrase ésta en las condiciones debidas al efecto, se aplazará dicha recepción definitiva hasta tanto que la obra esté en disposición de ser recibida, sin abonar al contratista cantidad alguna en concepto de ampliación del plazo de garantía y siendo obligación del mismo continuar encargado de la conservación.

ARTÍCULO (59).

*Acopios para la conservación del firme durante el plazo de garantía.*

Para atender á la conservación del firme durante el plazo de garantía, tendrá el contratista acopiados al tiempo de la recepción provisional (*tantos*) metros cúbicos de piedra machacada, como de segunda capa, por kilómetro.

ARTÍCULO (60).

*Acopios al tiempo de la recepción definitiva.*

El contratista deberá hacer, también durante el plazo de garantía, un acopio de piedra machacada al tamaño de la de segunda capa, de (*tantos*) metros cúbicos por kilómetro. Estos acopios se colocarán en los paseos á uno y otro lado del camino, en forma de malecones, á las distancias que designe el Ingeniero, y serán recibidos y certificados para su abono cuando se verifique la recepción definitiva de las obras.

ARTÍCULO (61).

*Recepción provisional.*

(a). Treinta días al menos antes de terminarse las obras de la carretera, ó las del trozo, en el caso de que se tuviese por conve-

niente hacer recepciones parciales, se avisará á la Dirección general de Obras públicas de la proximidad de su terminación. Si en este intermedio no hubiese resuelto la Dirección acerca del Ingeniero que ha de verificar la recepción provisional, se entenderá autorizado para hacerla el Ingeniero Jefe de la provincia.

(b). Hecha la recepción provisional, quedará abierta la carretera al tránsito, empezando á correr el término de garantía desde el día en que esto se verifique, sin perjuicio de lo que acerca del acta de recepción pueda disponer la Superioridad.

## ARTÍCULO (62).

*Recepción definitiva.*

Para la recepción definitiva se procederá en la misma forma que se previene en el artículo anterior para la provisional.

## ARTÍCULO (63).

*Obligaciones del contratista en casos no expresados terminantemente en condiciones.*

Es obligación del contratista ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aun cuando no se halle expresamente estipulado en estas condiciones, siempre que sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga por escrito el Ingeniero Jefe de la provincia; con derecho á la reclamación correspondiente por el contratista ante la Dirección general, dentro del término de los diez días siguientes al en que haya recibido la orden.

## ARTÍCULO (64).

*Documentos que puede reclamar el contratista.*

(a). El contratista, conforme á lo dispuesto en los artículos 5.<sup>o</sup> y 8.<sup>o</sup> del pliego de condiciones generales, podrá sacar á sus expensas, pero dentro de la oficina del Ingeniero precisamente, copias de los documentos del proyecto que forman parte de la contrata, cuyos originales le serán facilitados por el Ingeniero, el cual autorizará con su firma las copias si así conviniese al contratista.

(b). También tendrá derecho á sacar copia de los perfiles del replanteo, así como de las relaciones valoradas que se formen mensualmente y de las certificaciones expedidas.

## ARTÍCULO (65).

*Advertencia  
sobre la corres-  
pondencia ofi-  
cial del Inge-  
niero y contra-  
tista.*

El contratista tendrá derecho á que se le acuse recibo, si lo pide, de las comunicaciones y reclamaciones que dirija al Ingeniero encargado de las obras; á su vez estará obligado á devolver al Ingeniero, ya originales, ya en copias, todas las órdenes y avisos que de él reciba, poniendo al pie *enterado*.

(*Sello.*)

(*Fecha.*)

El Ingeniero autor del proyecto.

(*Firma entera.*)

EXAMINADO.

El Ingeniero Jefe de la provincia.

(*Media firma.*)

(Cubierta del presupuesto.)

PROYECTO DE CARRETERA DE . . . . . ORDEN

DE . . . . . A . . . . . POR . . . . .



DOCUMENTO NÚMERO 4.

.....

PRESUPUESTO.

—

Longitud total. . . .

Kilómetros.

|                                    | COSTE POR KILÓMETRO. |               | COSTE TOTAL.    |               |
|------------------------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------|
|                                    | <i>Pesetas.</i>      | <i>Cénts.</i> | <i>Pesetas.</i> | <i>Cénts.</i> |
| Ejecución material de las obras. . | »                    | »             | »               | »             |
| Presupuesto de contrata . . . . .  | »                    | »             | »               | »             |



# PRESUPUESTO.

---

## CAPÍTULO I.

---

### CUADROS DE PRECIOS.

---

---





## CUADRO NÚM. 1.

PRECIOS QUE SE ASIGNAN Á LAS UNIDADES DE OBRA EN LOS DIFERENTES TROZOS EN QUE SE HA DIVIDIDO EL PROYECTO.

## ADVERTENCIA.

Los precios designados en letra en este cuadro, con la rebaja que resulte de la subasta, son los que sirven de base al contrato; y conforme á lo prescrito en el art. 41.º de las condiciones generales, el contratista no puede reclamar que se introduzca modificación alguna en ellos, bajo ningún pretexto de error ú omisión.

*(Esta advertencia se copiará íntegra en la primera página del presente cuadro.)*

## NOTAS.

Los Ingenieros tendrán presentes en la formación del presente cuadro las observaciones siguientes:

1.ª Que debe presentarse un estado separado para cada uno de los trozos del proyecto, á menos que todos los precios asignados fueren los mismos para dos ó más de ellos: en tal caso se mencionarán en el encabezamiento de un modo claro y perceptible los trozos á que sean aplicables, poniendo siempre en letra los números de los expresados trozos.

2.ª Que tampoco debe seguirse estrictamente la numeración y designación que se indican en las dos primeras casillas del modelo, sino que para evitar, en cuanto sea dable, el tener que apelar á la fijación de precios contradictorios, habrán de incluirse en el cuadro, no sólo los que exijan las obras previstas en el proyecto, sino todos aquéllos que, aunque remotamente, tengan alguna conexión con ellos y puedan ocurrir en la ejecución de una carretera, siguiendo, en todo caso, el orden relativo en la numeración.

3.ª Que en ningún caso debe omitirse la advertencia que va al frente del cuadro; y con el objeto de evitar toda clase de cuestiones con los contratistas, los Ingenieros, al fijar los precios, deberán tener presentes las prescripciones que se detallan en el capítulo IV del modelo del pliego de condiciones, á las que deberán añadir las que á su juicio convengan para la debida claridad é inteligencia de las bases á que se hubieren sujetado en la fijación de los precios.

4.ª Que toda enmienda ó raspadura que en cualquiera de las partes del

cuadro se hiciere para corregir errores de copia, deberá ser subsanada al pie del mismo.

5.<sup>a</sup> Que en los precios correspondientes al movimiento de tierra va incluida la valoración de todas las operaciones necesarias para dejar terminados los desmontes, terraplenes y aperturas de caja y cunetas, incluso los transportes y refinos. Otro tanto debe entenderse respecto de los precios del afirmado y de las distintas unidades de obras de fábrica.

Y 6.<sup>a</sup> Que debiendo formar parte de los contratos que se celebren para la ejecución de carreteras, tanto el pliego de condiciones como el cuadro modelo núm. 1 á que estas advertencias se refieren, habrá de tenerse especial cuidado de que en ninguno de sus detalles exista la menor contradicción ni divergencia entre ambos documentos.

CUADRO NÚM. 1.

TROZO. . . . .

| NÚMERO<br>DE<br>ORDEN. | ARTÍCULO 1.º— <i>Explicación.</i>                                        | PRECIOS EN LETRA.                   | PRECIOS<br>EN CIFRA.<br>—<br><i>Pesetas.</i> |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|
| (1)                    | Metro cúbico de desmonte...                                              | Tantas pesetas, tantas centímetros. |                                              |
| (2)                    | Metro cúbico de terraplén (6 pedraplén).....                             | »                                   | »                                            |
| (3)                    | Metro lineal de apertura de cuneta.....                                  | »                                   | »                                            |
| (4)                    | Metro lineal de apertura de caja para el firme.....                      | »                                   | »                                            |
|                        | ARTÍCULO 2.º— <i>Obras de fábrica.</i>                                   |                                     |                                              |
| (5)                    | Metro cúbico de mampostería en seco.....                                 | »                                   | »                                            |
| (6)                    | Metro cúbico de mampostería de relleno con mezcla común.....             | »                                   | »                                            |
| (7)                    | Metro cúbico de mampostería con mezcla hidráulica.....                   | »                                   | »                                            |
| (8)                    | Metro cúbico de mampostería con mezcla hidráulica y debajo del agua..... | »                                   | »                                            |
| (9)                    | Metro cúbico de mampostería careada para paramentos...                   | »                                   | »                                            |
| (10)                   | Metro cúbico de mampostería concertada en paramentos..                   | »                                   | »                                            |
| (11)                   | Metro cuadrado de revoque de paramento.....                              | »                                   | »                                            |

| NÚMERO<br>DE<br>ORDEN. |                                                                                        | PRECIOS EN LETRA.                | PRECIOS<br>EN CIFRA.<br>—<br>Pesetas. |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| (12)                   | Metro cúbico de rajuela para bóvedas.....                                              | Tantas pesetas, tantos céntimos. |                                       |
| (13)                   | Metro cúbico de hormigón ordinario.....                                                | » »                              |                                       |
| (14)                   | Metro cúbico de hormigón hidráulico.....                                               | » »                              |                                       |
| (15)                   | Metro cúbico de fábrica de ladrillo con mortero común..                                | » »                              |                                       |
| (16)                   | Metro cúbico de fábrica de ladrillo con mortero hidráulico.....                        | » »                              |                                       |
| (17)                   | Metro cúbico de sillería en muros rectos.....                                          | » »                              |                                       |
| (18)                   | Metro cúbico de sillería aplanada para bóvedas, taja-<br>mares y molduras.....         | » »                              |                                       |
| (19)                   | Metro cúbico de sillería debajo del agua.....                                          | » »                              |                                       |
| (20)                   | Metro cúbico de losa de tapa.                                                          | » »                              |                                       |
| (21)                   | Metro cúbico de escollera....                                                          | » »                              |                                       |
| (22)                   | Metro cúbico de madera en cimbras y andamios.....                                      | » »                              |                                       |
| (23)                   | Un pilote de tal longitud por tal diámetro, con ó sin azuche y collar, puesto en obra. | » »                              |                                       |
| (24)                   | Metro superficial de empartillado.....                                                 | » »                              |                                       |
| (25)                   | Metro cuadrado de cubierta de teja.....                                                | » »                              |                                       |

| NÚMERO<br>DE<br>ORDEN.                       |                                                                                                                                                       | PRECIOS EN LETRA.                | PRECIOS<br>EN CIFRA.<br>—<br><i>Pescetas,</i> |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| (26)                                         | Metro cuadrado de cubierta de pizarra.....                                                                                                            | Tantas pesetas, tantos céntimos. |                                               |
| (27)                                         | Metro cuadrado de cubierta de zinc.....                                                                                                               | »                                | »                                             |
| (28)                                         | Kilogramo de clavazón y herraje, empleado en obra...                                                                                                  | »                                | »                                             |
| ARTÍCULO 3. <sup>o</sup> — <i>A firmado.</i> |                                                                                                                                                       |                                  |                                               |
| (29)                                         | Metro lineal de firme completamente terminado.....                                                                                                    | »                                | »                                             |
| (30)                                         | Metro cúbico de piedra machacada al tamaño de segunda capa, para conservación durante el plazo de garantía, inclusa la mano de obra de su empleo..... | »                                | »                                             |
| (31)                                         | Metro cúbico de piedra machacada al tamaño de segunda capa, para acopios, al tiempo de hacerse la recepción definitiva.....                           | »                                | »                                             |

(Aquí las notas correspondientes acerca de las enmiendas ó raspaduras que se hubieren hecho en el cuadro para salvar errores de copia.)

(*Sello de la provincia.*)

(*Fecha.*)

EXAMINADO.

El Ingeniero autor del proyecto.

(*Firma entera.*)

El Ingeniero Jefe de la provincia.

(*Media firma.*)

## CUADRO NÚM. 2.

DETALLES DE LOS PRECIOS DEL CUADRO NÚM. 1.

## ADVERTENCIA.

Conforme á lo dispuesto en el art. 41.º del pliego de condiciones generales, el contratista no puede, bajo ningún pretexto de error ú omisión en estos detalles, reclamar modificación alguna en los precios señalados en letra en el cuadro núm. 1, los cuales son los que sirven de base á la adjudicación y los únicos aplicables á los trabajos contratados, con la baja correspondiente, según la mejora que se hubiese obtenido en la subasta.

Los precios del presente cuadro se aplicarán única y exclusivamente en los casos que sea preciso abonar obras incompletas, cuando por rescisión ú otra causa no lleguen á terminarse las contratadas. También se aplicarán en la redacción de las valoraciones mensuales que se expidan al contratista, según dispone el art. (53) del pliego de condiciones facultativas.

Los Ingenieros deberán tener presente para la redacción de este documento:

1.º Que el objeto principal de estos detalles es proporcionar datos para el abono de obras incompletas cuando por rescisión ú otra causa no llegara á terminarse un trozo de la carretera contratada. En tal concepto, debe descomponerse cada precio de los del cuadro núm. 1 en los elementos correspondientes á las operaciones parciales de cada clase de obra que se hubieren ejecutado ó dejado de ejecutar al tiempo de suspenderse los trabajos, y que, por lo tanto, hayan de ser objeto de valoración.

Se omiten, de entre los indicados elementos, los transportes y la carga y descarga, porque en lo relativo á los movimientos de tierras van incluidos estos elementos en el coste de la excavación, y en lo tocante á las obras de fábrica y al firme, en el arranque de la piedra en cantera ó en la adquisición del material.

2.º Que en la designación de los precios debe seguirse la numeración correspondiente del cuadro núm. 1.

3.º Que si algún precio no admitiese descomposición ó ésta no ofreciese interés para el objeto principal á que según la primera observación han de servir estos detalles, debe manifestarse así al llegar á él en la numeración. Así, por ejemplo, se dirá: (7) No admite ó no es susceptible de descomposición.

4.º Que para cada trozo del proyecto se habrá de redactar una relación, si los precios variasen de uno á otro, omitiéndose, en caso contrario, la repetición de estos detalles, pero advirtiendo claramente los trozos á que cada relación es aplicable.

## CUADRO NÚM. 2.

## DETALLES DE LOS PRECIOS.

## TROZO.....

ARTÍCULO 1.º—*Explicación.*

|                                                                                                            | Ptas. Cts. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| (1) Metro cúbico de desmonte.                                                                              |            |
| En tierra franca. ....                                                                                     | Tanto.     |
| En tierra dura. ....                                                                                       | Tanto.     |
| En terreno de tránsito. ....                                                                               | Tanto.     |
| En roca floja. ....                                                                                        | Tanto.     |
| En roca dura. ....                                                                                         | Tanto.     |
| Depósito en caballeros. ....                                                                               | Tanto.     |
| Refino de taludes. ....                                                                                    | Tanto.     |
| (2) Metro cúbico de terraplén.                                                                             |            |
| Formación del terraplén ó pedraplén, cualquiera que sea a<br>procedencia de la tierra ó de la piedra. .... | Tanto.     |
| Arreglo y consolidación de las tierras. ....                                                               | Tanto.     |
| Refino de taludes. ....                                                                                    | Tanto.     |
| (3) Metro lineal de cuneta terminada.                                                                      |            |
| En tierra franca. ....                                                                                     | Tanto.     |
| En tierra dura. ....                                                                                       | Tanto.     |
| En terreno de tránsito. ....                                                                               | Tanto.     |
| En roca floja. ....                                                                                        | Tanto.     |
| En roca dura. ....                                                                                         | Tanto.     |
| (4) Metro lineal de caja para el firme.                                                                    |            |
| En tierra franca. ....                                                                                     | Tanto.     |
| En tierra dura. ....                                                                                       | Tanto.     |
| En terreno de tránsito. ....                                                                               | Tanto.     |
| En roca floja. ....                                                                                        | Tanto.     |
| En roca dura. ....                                                                                         | Tanto.     |



ARTÍCULO 2.º—*Obras de fábrica.*

|                                                                                                       | Ptas. Cts. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| .....                                                                                                 | .....      |
| —————                                                                                                 |            |
| .....                                                                                                 | .....      |
| —————                                                                                                 |            |
| (17) Metro cúbico de sillería en muros rectos.                                                        |            |
| Arranque del material necesario para producir un metro cúbico de sillería, puesto al pie de obra..... | Tanto.     |
| Desbaste.....                                                                                         | Tanto.     |
| Labra y preparación.....                                                                              | Tanto.     |
| Asiento, incluso el mortero.....                                                                      | Tanto.     |
| Resto de la obra.....                                                                                 | Tanto.     |
| Total.....                                                                                            | Tanto.     |

*(Análogamente á este detalle del precio de la sillería, se presentarán los de los precios de las otras obras de fábrica que contenga el cuadro núm. 1.)*

ARTÍCULO 3.º—*Metro lineal de firme.*

|                                                                                                                                                           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Arranque ó adquisición de la cantidad de piedra necesaria para formar la primera capa de firme, machacada según condiciones y puesta al pie de obra.....  | Tanto. |
| Arranque ó adquisición de la cantidad de piedra necesaria para formar la segunda capa del firme, machacada según condiciones y puesta al pie de obra..... | Tanto. |
| Extensión y arreglo de la piedra en la caja.....                                                                                                          | Tanto. |
| Recebo y su extensión.....                                                                                                                                | Tanto. |
| Consolidación del firme.....                                                                                                                              | Tanto. |
| Total.....                                                                                                                                                | Tanto. |

*(Á continuación se detallarán los precios que, además de los expresados, convenga descomponer ó subdividir para el objeto del presente cuadro.)*

*(Sello de la provincia.)*

*(Fecha.)*

El Ingeniero autor del proyecto.

*(Firma entera.)*

EXAMINADO,

El Ingeniero Jefe de la provincia.

*(Media firma.)*

PRESUPUESTO.

---

CAPÍTULO II.

---

PRESUPUESTOS PARCIALES.

---

---

## PRESUPUESTOS DE LAS OBRAS DE FÁBRICA.

---

### ADVERTENCIAS.

1.<sup>a</sup> Como en los modelos de la colección oficial se detallan la cubicación de los frentes y la de un metro lineal de cañón con sus estribos, es preciso empezar por la determinación del coste de estas partes. Por consiguiente, para cada uno de los modelos elegidos se aplicarán á los resultados de la cubicación citada los precios que correspondan según la clase de fábrica, y así se tendrá el coste de un frente y el de un metro lineal de cañón.

2.<sup>a</sup> Se procederá á la presentación de estos datos, empezando por las obras de menor importancia y concluyendo por las de mayor entidad que contenga el proyecto.

3.<sup>a</sup> Para las obras no sujetas á modelo, se hará la aplicación de precios á los resultados de la cubicación verificada con arreglo al modelo núm. 9 anexo á la memoria.

## PRESUPUESTOS PARCIALES DE LAS OBRAS DE FABRICA.

(Aquí los presupuestos de estas obras de menor á mayor.) Empezará cada uno de estos presupuestos por el de las fundaciones. Si éstas estuviesen determinadas, se detallará su coste aplicando á las unidades de obra los precios que les correspondan según su clase. Si se hubiesen dejado indeterminadas, se pondrá sólo una cantidad alzada según el coste que prudencialmente se calcule tendrán.

En seguida se aplicarán á los resultados de la cubicación los precios que correspondan según la clase de fábrica, y así se tendrá el coste de un frente y el de un metro lineal de cañón.

Por último, se concluirá con el siguiente resumen:

|                     |                                               |         |
|---------------------|-----------------------------------------------|---------|
| Fundaciones.....    |                                               | Tanto.  |
| Cuerpo de la obra.. | ( Dos frentes, á tanto.....                   | Tanto.) |
|                     | Tantos metros lineales de cañón, á tanto..... | Tanto.) |
| Medios auxiliares.. | ( Cimbra y andamiaje.....                     | Tanto.) |
|                     | Agotamientos (1).....                         | Tanto.) |
| Total.....          |                                               | Tanto.  |

(1) Esta partida se incluirá cuando los agotamientos hubieren de ser de cuenta del contratista, y entonces se cuidará de mencionar esta circunstancia en el artículo correspondiente de las condiciones facultativas. Si los agotamientos no hubieren de ser del cargo del contratista, se suprimirá de estos presupuestos la partida indicada, y se cuidará de tenerla en cuenta para incluir su importe probable en el «Presupuesto para conocimiento de la Administración,» que ha de figurar al final de la memoria (anexo número 16).

Los presupuestos de obras no sujetas á modelo se redactarán aplicando á sus cubicaciones especiales los precios correspondientes del cuadro número 1, y se insertarán después de las de su clase sujetas á modelo; es decir, que si se trata de una tajea que hubiere exigido proyecto especial, su presupuesto se insertará á continuación de los de las tajeas arregladas á modelo; si se tratase de una alcantarilla, después de las de esta clase, y así las demás.



PRESUPUESTO.



CAPÍTULO III.



PRESUPUESTO GENERAL.





PRESUPUESTO DE LA CARRETERA POR TROZOS.

TROZO.....

Desde.....  
Longitud.....

hasta.....  
metros.

|                                             |   | IMPORTE,                                                                                        | TOTALES    |
|---------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                             |   | —                                                                                               | PARCIALES. |
|                                             |   | Ptas. Cts.                                                                                      | Ptas. Cts. |
| <i>ARTÍCULO 1.º—Explanación.</i>            |   |                                                                                                 |            |
| Caja y canchales,<br>Revolimento de tierras | { | Tantos metros cúbicos de desmonte, á tantas pesetas tantos céntimos. ....                       | Tanto.     |
|                                             |   | Tantos de terraplén ó pedraplén, á tantas pesetas tantos céntimos. ....                         | ”          |
|                                             |   | Tantos metros lineales de apertura de caja, á tantas pesetas tantos céntimos.....               | ”          |
|                                             |   | Tantos de cunetas abiertas, á tantas pesetas tantos céntimos. ....                              | ”          |
| Total del art. 1.º.....                     |   | ”                                                                                               | ”          |
| <i>ARTÍCULO 2.º—Obras de fábrica.</i>       |   |                                                                                                 |            |
| Muros de sostenimiento.                     | { | Tantos metros cúbicos de muros de sostenimiento en seco, á tantas pesetas tantos céntimos.....  | Tanto.     |
|                                             |   | Tantos de muros de sostenimiento con mezcla, á tantas pesetas tantos céntimos. ...              | ”          |
| Pretilos.                                   | { | Tantos de muros de mampostería con mezcla para pretilos, á tantas pesetas tantos céntimos. .... | ”          |
| Badenes.                                    | { | Tantos badenes, según el modelo núm. ...., á tantas pesetas tantos céntimos.....                | ”          |
|                                             |   | Tantos sifones, según el modelo núm. ...., á tantas pesetas tantos céntimos. ....               | ”          |
| Caños.                                      | { | Tantos caños, según el modelo núm. ...., á tantas pesetas tantos céntimos. ....                 | ”          |
|                                             |   | Suma y sigue. ....                                                                              | ”          |



|                            |   | IMPORTE.                                                                                                                |        | TOTALES    |        |
|----------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|--------|
|                            |   | —                                                                                                                       |        | PARCIALES. |        |
|                            |   | Ptas.                                                                                                                   | Cts.   | Ptas.      | Cts.   |
| <i>Suma anterior</i> ..... |   |                                                                                                                         |        |            |        |
| Tajeas.                    | { | Tantas tajeas, modelo núm....., á tantas pesetas tantos céntimos.....                                                   | »      | }          | »      |
|                            |   | .....                                                                                                                   | »      |            |        |
| Alcantarillas.             | { | Tantas alcantarillas, modelo núm....., á tantas pesetas tantos céntimos.....                                            | »      | }          | »      |
|                            |   | .....                                                                                                                   | »      |            |        |
| Pontones.                  | { | Tantos pontones, según modelo núm....., á tantas pesetas tantos céntimos.....                                           | Tanto. | }          | Tanto. |
|                            |   | Un pontón, según proyecto especial, para el punto (tal), á tantas pesetas tantos céntimos.....                          | »      |            |        |
| Puentes y viaductos.       | { | Un puente de fábrica para el paso del río....., según su proyecto especial.....                                         | »      | }          | »      |
|                            |   | Un viaducto de hierro sobre estribos y pilas de fábrica para el paso del barranco....., según su proyecto especial..... | »      |            |        |
| Total del art. 2.º.....    |   | »                                                                                                                       | »      |            |        |

NOTA. Cuando se creyese oportuno que la ejecución de los puentes y viaductos no formen parte de la contrata de la carretera, se omitirán las partidas correspondientes, y los proyectos se presentarán por separado.

ARTÍCULO 3.º—*A firmado.*

|                                                                                                  |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
| Tantos metros lineales de firme completamente consolidado, á tantas pesetas tantos céntimos..... | Tanto. | Tanto. |
| Total del art. 3.º.....                                                                          | »      | »      |

| IMPORTE. |      | TOTALES    |      |
|----------|------|------------|------|
| —        |      | PARCIALES. |      |
| Plas.    | Cts. | Plas.      | Cts. |

ARTÍCULO 4.º—*Obras accesorias.*

|                                                                                                                                                                              |        |   |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---|---|
| Empedrados, rastrillos y muretes de las cunetas.....                                                                                                                         | Tanto, | } | p |
| Muros y muretes de contención de los desmontes.....                                                                                                                          | »      |   |   |
| Cunetas y zanjas de coronación y desagüe....                                                                                                                                 | »      |   |   |
| Rectificaciones y desvíos de cauces.....                                                                                                                                     | »      |   |   |
| Rampas de servidumbres.....                                                                                                                                                  | »      |   |   |
| Cercas de heredades.....                                                                                                                                                     | »      |   |   |
| Malecones.....                                                                                                                                                               | »      |   |   |
| Guardarruedas.....                                                                                                                                                           | »      |   |   |
| Postes kilométricos.....                                                                                                                                                     | »      |   |   |
| Postes indicadores.....                                                                                                                                                      | »      |   |   |
| Tantas casillas de peones camineros, á.....                                                                                                                                  | »      | } | p |
| Daños y perjuicios por tránsito inevitable en algunas partes de la carretera en construcción, y habilitación ó ejecución de caminos provisionales para paso del público..... | »      |   |   |
| Total del art. 4.º.....                                                                                                                                                      | »      | » | » |

ARTÍCULO 5.º—*Conservación y acopios.*

|                                                                                                                                                                               |   |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| Por la conservación de las obras de tierra y fábrica y extracción de escombros durante el plazo de garantía.....                                                              | » | » |
| Para conservación del firme durante el plazo de garantía.....                                                                                                                 | » | » |
| Tantos metros cúbicos de piedra machacada al tamaño de segunda capa, que debe hallarse acopiada al verificarse la recepción definitiva, á tantas pesetas tantos céntimos..... | » | » |
| Total del art. 5.º.....                                                                                                                                                       | » | » |

## RESUMEN DEL PRESUPUESTO DEL TROZO TAL.....

|                                   | Pts. Cts. |
|-----------------------------------|-----------|
| ARTÍCULO 1.º—Explicación.....     | »         |
| » 2.º—Obras de fábrica.....       | »         |
| » 3.º—Afirmado.....               | »         |
| » 4.º—Obras accesorias.....       | »         |
| » 5.º—Conservación y acopios..... | »         |
| <i>Total</i> .....                | »         |

NOTA. La ejecución de las casillas para peones camineros debe siempre formar parte de la contrata de la carretera, por lo cual se acompañarán sus respectivas cubicaciones y presupuestos parciales en igual forma que esto se verifica respecto á las obras de fábrica; pero su importe se incluirá en el art. 4.º del presupuesto que lleva el título de *Obras accesorias*.

---

*Sigue el presupuesto de cada trozo con su respectivo resumen.*

## PRESUPUESTO GENERAL

DE EJECUCIÓN MATERIAL DE LOS..... TROZOS EN QUE SE HA DIVIDIDO  
EL PROYECTO DE CARRETERA.

| TROZOS.                |                           | Explana-<br>ción.<br>—<br>Pesetas. | Obras<br>de<br>fábrica.<br>—<br>Pesetas. | Afirmado.<br>—<br>Pesetas. | Obras<br>accesorias<br>—<br>Pesetas. | Conserva-<br>ción y<br>acopios.<br>—<br>Pesetas. | TOTALES<br>POR TROZOS.<br>—<br>Pesetas. |
|------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Número<br>de<br>orden. | Longitud.<br>—<br>Metros. |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |
| 1.                     |                           |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |
| 2.                     |                           |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |
| 3.                     |                           |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |
| 4.                     |                           |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |
| etc.                   |                           |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |
| Totales.               |                           |                                    |                                          |                            |                                      |                                                  |                                         |

### RESUMEN DEL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.

|                              | Pesetas. |
|------------------------------|----------|
| Explicación. ....            | »        |
| Obras de fábrica. . . . .    | »        |
| Afirmado. ....               | »        |
| Obras accesorias. ....       | »        |
| Conservación y acopios. .... | »        |
| Total general. ....          | »        |

Asciende el presupuesto de ejecución de las obras á la cantidad de  
(aquí el importe en letra).

(Sello.)

(Fecha.)

El Ingeniero autor del proyecto.

(Firma entera.)

EXAMINADO.

El Ingeniero Jefe de la provincia.

(Media firma.)

## PRESUPUESTO DE CONTRATA

DE LOS.... TROZOS EN QUE SE HA DIVIDIDO EL PROYECTO DE CARRETERA.

| TROZOS.<br>—<br>Número<br>de<br>orden. | Ejecución<br>material.<br>—<br><i>Pesetas.</i> | Imprevistos<br>1 por 100.<br>—<br><i>Pesetas.</i> | Dirección<br>y<br>administra-<br>ción.<br>5 por 100.<br>—<br><i>Pesetas.</i> | Beneficio<br>industrial.<br>9 por 100.<br>—<br><i>Pesetas.</i> | TOTALES.<br>—<br><i>Pesetas.</i> |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1.                                     |                                                |                                                   |                                                                              |                                                                |                                  |
| 2.                                     |                                                |                                                   |                                                                              |                                                                |                                  |
| 3.                                     |                                                |                                                   |                                                                              |                                                                |                                  |
| 4.                                     |                                                |                                                   |                                                                              |                                                                |                                  |
| etc.                                   |                                                |                                                   |                                                                              |                                                                |                                  |
| Totales....                            |                                                |                                                   |                                                                              |                                                                |                                  |

### RESUMEN DEL PRESUPUESTO DE CONTRATA.

|                                                                                                         | <i>Pesetas.</i> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Ejecución material de las obras.....                                                                    | »               |
| Gastos imprevistos, 1 por 100.....                                                                      | »               |
| Gastos de dirección y administración, 5 por 100.....                                                    | »               |
| Beneficio industrial (comprendido el 3 por 100 por el interés<br>del dinero adelantado), 9 por 100..... | »               |
| Total general .....                                                                                     | »               |

Asciende el presupuesto de contrata á la cantidad de (*aquí el importe en letra*).

(*Sello.*)

(*Fecha.*)

El Ingeniero autor del proyecto.

(*Firma entera.*)

EXAMINADO.

El Ingeniero Jefe de la provincia.

(*Media firma.*)

## APÉNDICE NÚM. 2.

---

### CALZADAS ROMANAS.

El objeto de este Apéndice es dar idea de cómo se proyectaban y disponían las calzadas por los romanos y de la extensión que alcanzó la red en la Península Ibérica. Nada mejor puede hacerse que transcribir algunos párrafos del erudito discurso pronunciado por el docto Ingeniero D. Eduardo Saavedra, en 28 de Diciembre de 1862, al tomar posesión de una plaza de número en la Real Academia de la Historia. Así se expresaba el ilustre Profesor de la Escuela de Caminos:

«Tiempo es ya de decir algo de las condiciones técnicas de las vías romanas, empezando por las reglas que se proponían para su trazado. Aunque en las líneas más lujosas de Italia se ven profundos desmontes en roca, como en la vía Appia, cerca de Terracina; galerías subterráneas, como en el Averno y el Pauslipo, ó muros enormes de sostenimiento, como cerca de Urbino, es constante que, así por la economía de la construcción, como por atender á las condiciones estratégicas, la mayor parte de las vías antiguas se hicieron con muy corto trabajo de explanación, dirigiéndolas por las divisorias de último orden ó por los más suaves descensos de las colinas, por las altas mesetas ó por las llanuras despejadas, economizando al mismo tiempo las obras que para el paso de aguas exigen nuestros trazados en ladera. Ocasionaba esto, como es natural, fuertes pendientes, en notorio perjuicio del tránsito, pues disminuyen las cargas que pueden arrastrar los tiros, acortan su velocidad en las subidas, y ofrecen peligro frecuentemente en las bajadas. Más atentos á la dirección recta de las alineaciones, las prolongaban cuanto era posible en los territorios desembarazados, y hoy sirven en muchas partes para reconocer y comprobar los vestigios que se encuentran á lo largo de las veredas ó á través de los campos cultivados.

»El paso de los ríos se efectuaba muchas veces echando sobre su lecho magníficos puentes de sillería, tan sólidos algunos que permanecen firmes en nuestros días, como los que ostentan todavía con orgullo Mérida y Alcántara, Orense, Salamanca y Martorell. En otros, sólo se hacían entra-

mados de madera apoyados en macizos de fábrica ó en palizadas del mismo material. En varios casos, en fin, atravesaban la corriente, mejorando el paso con badenes cuidadosamente guarnecidos y afirmados en toda la anchura que el camino debía tener; y entonces quedaba el tránsito interceptado siempre que las avenidas hacían crecer el río y aumentar el ímpetu de sus raudales. Con alcantarillas algunas veces, con pequeños badenes las más, salvaron los arroyos y barrancos; y si el llano estaba expuesto á los desbordamientos de las aguas, elevaban en terraplén las calzadas, defendiéndolas con muretes y rastrillos cuando podían ser atacadas y corroídas.

»De diversas maneras se preparaba la superficie de la vía. Las calzadas más suntuosas, cuyo modelo fué la Appia, se enlosaban con piedras cuadradas y sentadas con esmero, y la parte central, que tenía el necesario bombeo para escurrir las aguas, estaba contenida por dos aceras de losas mayores, análogas á las de nuestras calles modernas; pero este sistema, que no falta quien crea general en los caminos romanos, era sólo una excepción, y se hicieron muy pocos con todo el dispendio que consigo lleva. Con más frecuencia se empedraban con cantos de forma irregular, á la manera de lo que llamamos cuñas, cimentándolos con materias sólidas y duras, y haciendo de una obra más perfecta ó de simple grava las márgenes ó paseos laterales, que estaban separados del centro por una fila de adoquines. Mas el sistema que prevaleció, especialmente en las provincias fuera de Italia, fué el afirmado, que debió parecer, al mismo tiempo que más económico, mejor acomodado para la conservación y el tránsito. Componíase de un cimiento de piedras grandes arregladas en una ó dos capas horizontales y con mortero, que sostenía el resto de la masa sobre la caja de la explanación; llevaba encima una gruesa capa de piedra pequeña ó cascajo de reducido tamaño, que formaba el cuerpo de la calzada; y sobre ésta venía, aunque no siempre, otra capa más delgada de tierra arcillosa ó escombros, por el estilo del actual recebo, cubierta con menudo cascajo para defenderla del roce.

»En alguna ocasión dejaron el suelo natural para que sirviera de camino (llamado entonces *via terrena*), por causa de la calidad firme y enjuta de la superficie, por la poca importancia del trozo así dispuesto, ó por la falta de fondos en el tiempo oportuno de su construcción. Estrabón y Ulpiano hablan claramente de estas vías, y yo mismo he tenido ocasión de ver ejemplos de ellas en la calzada que atraviesa por Numancia y que tanta bondad de vuestra parte me ha valido (1).

»Si yo no fuese hasta cierto punto parte interesada en la controversia, sería muy del caso examinar si es verdad, como muchos aseguran, que los

(1) Refiérese el Sr. Saavedra á la comprendida entre Uxama y Augustobriga, cuyos extremos corresponden próximamente al Burgo de Osma y Ágreda.

caminos romanos llevan ventaja á los que ahora hacemos en perfección y solidez. Para esto convendría antes explicar que las condiciones que exige hoy un camino, respecto del uso que de él se hace, son: solidez, dureza, elasticidad é igualdad en la superficie; y por los gastos que origina: facilidad y economía en la constante conservación en el mismo estado. También se habría de ver que de todas estas condiciones las calzadas romanas no satisfacían más que á las dos primeras, tanto por la naturaleza como por la composición de su firme. Pero su espesor considerable y el enlace que se daba muchas veces á las piedras, echándoles mortero ú otra materia aglutinante, les quitaba toda la elasticidad que deben nuestras carreteras á sus firmes delgados de piedras angulosas sin cementar, circunstancia reconocida como muy importante para que las caballerías efectúen su tiro con el mayor provecho posible, y se conserven por más tiempo tanto los vehículos como el camino mismo. Habría que añadir que la igualdad de la superficie es más fácil de mantener en los firmes elásticos y poco levantados en el centro que en los antiguos, pues las fuertes sacudidas que daban en éstos los carruajes y la tendencia á marchar siempre por el medio, bastan para destruir pronto la obra mejor concertada: la diaria y constante conservación en el mismo estado es facilísima por nuestro sistema, mientras que por el antiguo equivalía á una reedificación del camino. Recuérdense si no las inscripciones conmemorativas de las grandes y frecuentes reparaciones de las calzadas, que se han pretendido punto menos que eternas; véase cómo de las pocas que entre tantas han quedado enteras huye el caminante á la inmediata vereda más dulce á la pisada, y obsérvese, por fin, que si alguna está en uso todavía en la estación de invierno, es precisamente de aquéllas que se han construído con más semejanza á nuestros métodos, ó se han reparado en la Edad Media de una manera parecida.

»El espesor de los afirmados es muy variable en las romanas vías, y aunque no baja de 0<sup>m</sup>,45, y eso si están algo desgastadas, llega hasta un metro y algo más; lo cual consumía un volumen de materiales inmenso y enteramente inútil, porque en cuanto se han profundizado 0<sup>m</sup>,08 ó 0<sup>m</sup>,10 los baches y rodadas, la superficie queda intransitable, sin que sirva de nada todo el macizo inferior, que necesita poco para resistir á la presión de las cargas más fuertes. El ancho, por lo común, era de 5 á 6 metros, que es el mínimo de las carreteras actuales, aunque á veces llegaba, como en éstas, á más de 9, y estaba limitado por dos filas de piedras planas, aparentes unas veces, ocultas otras en el detritus de la superficie, que la separaban de las zanjas ó cunetas laterales, convenientemente dispuestas para dar salida á las aguas y desecar el piso, atendiendo al mismo tiempo á su conservación y á la comodidad de su uso.

»Las estatuas, los sepulcros, los arcos triunfales, las quintas y los templos adornaban los bordes de los caminos cerca de Roma y otras capitales populosas; y el extranjero que se dirigía á la gran ciudad creía hallarse dentro de ella mucho antes de haber divisado sus puertas. De trecho en



trecho, columnas miliarias de menos de dos metros de altura y medio de diámetro, señalaban al caminante la distancia que tenía andada desde Roma, desde la capital política ó desde la población más importante del país, ó bien lo que faltaba para llegar al cercano término del viaje, si se dirigía al punto en que finalizaba una de las grandes arterias de comunicación; los nombres de los Emperadores que habían decretado las obras ó reparaciones, los de los magistrados que habían presidido á ellas, ó los de los particulares que les habían dado generoso apoyo, encabezaban la inscripción, y sus títulos y honores nos ponen en conocimiento de la fecha precisa en que tuvieron lugar estas mejoras materiales, elemento necesario del adelanto moral de los pueblos: muchas columnas se encuentran, sin embargo, que por estar muy próximas á otras, ó por descuido ó falta de tiempo, no llevan grabada ni la distancia itineraria. El primero que hizo medir los caminos fué Cayo Graco, pero sin un origen fijo y común, hasta que Augusto plantó en el centro del foro el *milliarium aureum*, consolidado más tarde por Vespasiano. Las fuentes, guardarruedas, bancos y escabeles de piedra completaban el adorno y comodidad de las vías más notables.

»Herida la imaginación del pueblo por la grandeza y magnificencia de los restos de calzadas que atraviesan sus campos, resistiendo á la corrosión de las aguas y á la reja del arado, les ha fijado un origen sobrenatural ó maravilloso, como indican los nombres de *calzadas de Brunehilda*, que les dan en Flandes; *caminos de los gigantes*, que reciben en Inglaterra; *vías del diablo*, que los llaman en Italia; *camino sarraceno*, *camino de la plata*, y otros con que en España desde tiempo atrás se conocen; y muchos valles, puertos y lugares han tomado su nombre de la calzada inmediata, de sus vueltas ó de sus accesorios.

»Un notable documento de la antigüedad nos hace conocer la estadística casi exacta de las vías militares del Imperio: quiero hablar del famoso itinerario de Antonino. Cuál sea el autor y el objeto de este documento, no hace á mi propósito: lo que ahora importa es consignar que, sin embargo de las mutilaciones que ha sufrido de copia en copia hasta llegar á las que poseen las más renombradas bibliotecas, nos da preciosas noticias sobre el número, longitud y dirección de las calzadas romanas, así como el derrotero de los viajes marítimos del Mediterráneo. El número total de caminos allí señalados asciende á 372, de los cuales 34, con 6.953 millas romanas de longitud total, corresponden á las provincias de la *Hispania*, comprensiva de lo que son hoy los reinos de España y Portugal (1). La car-

(1) El Sr. Clairac, en su excelente *Diccionario de Arquitectura é Ingeniería*, reduce la longitud asignada á los caminos españoles á 6.926 millas (cada una corresponde aproximadamente á kilómetro y medio): la pequeña diferencia que aparece se debe á estar repetidas algunas secciones en el itinerario. El mismo Sr. Clairac reproduce este importante documento en la parte relativa á la Península, expresando las *mansiones* en él citadas,

ta llamada de Peutinger, por haberse hallado en poder de este docto bibliógrafo, publicada en 1591 por Marcos Velsler, es una delineación gráfica de todas las vías del Imperio, y completa ó corrige las indicaciones del itinerario antes citado: desgraciadamente falta la parte española, de la que sólo se encuentran cuatro mansiones de Cataluña. En cambio aparecieron en 1852, en Vicarello, tres vasos de plata, en que estaba grabado el itinerario desde Cádiz hasta Roma, y en la parte que nos toca da noticia de nuevas mansiones y trozos de camino, rectifica algunos y comprueba varios del largo trayecto que tiene que señalar á través de la Península.»

Los párrafos que se han copiado dan idea de la traza de las calzadas romanas; de la disposición que se les daba, según su mayor ó menor importancia, y de la extensión que alcanzó en España y Portugal la red de caminos pretorianos. El Sr. Saavedra, compulsando todos los datos con la inteligencia y criterio que le distinguen, delineó el mapa itinerario de la España romana, que acompaña á su discurso, y que consultarán con fruto cuantos deseen estudiar la geografía antigua de nuestra patria.

Se terminará esta breve reseña de las calzadas romanas puntualizando los métodos de construcción; pero como éstos variaban mucho, conforme á las circunstancias, según ya se ha expresado, se explicarán solamente los más perfectos, que corresponden á las calzadas

ó sean hospederías, que marcaban el término de las jornadas y distaban de 30 á 40 millas; sus correspondencias con las poblaciones actuales, y el número de millas que las separaba. Para tan interesantes trabajos se valió el autor de los datos consignados en los discursos pronunciados en la Academia de la Historia por los Sres. Saavedra, Fernández-Guerra (D. Aureliano) y Coello, incluyendo también las poblaciones señaladas en los vasos Apolinarieos ó de Vicarello.

El Sr. Coello, fundándose en los antecedentes que ha reunido, hace subir á 20.000 millas el total de calzadas construídas por los romanos en España. No hay contradicción entre aquel guarismo y el que antes se estampó, porque el itinerario de Antonino Augusto Caracalla (que se cree data del año 150 de nuestra era) se refiere sólo á las vías *militares*, *consulares* ó *pretorianas*, que, dedicadas á facilitar las marchas de los ejércitos, unían la capital de la región con las principales poblaciones y puntos estratégicos, y corrían á cargo del Estado. Pero, aparte de éstas, había otras muchas calzadas *vecinales*, que se conservaban por los municipios y colonias inmunes y que tenían por objeto servir los intereses del comercio y las relaciones entre los pueblos. Nada, pues, tendría de particular que entre las vías militares y vecinales se llegara, y aun quizá se pasara, de la longitud total que les atribuye el Sr. Coello.

militares de mayor lujo, como la *vía Appia* (1), consagrando, no obstante, algunos renglones á las secundarias ó vecinales.

La *vía Appia*, una de las más antiguas, se empezó, 312 años antes de Jesucristo, por el Censor Appio Claudio Cæco: arrancaba de la puerta llamada hoy de San Sebastián, en Roma, y se dirigía á Capua por las lagunas Pontinas y Terracina; posteriormente se prolongó hasta Brindis, en el Adriático, por Benevento, Venosa y Tarento. Tenía 380 millas (559 kilómetros) de desarrollo; reducíase su planta á tres alineaciones rectas enlazadas por curvas de cuatro kilómetros de radio; presentaba tramos en terraplén de 28 kilómetros de longitud, muchos puentes importantes y un viaducto en Ariccia de 227 metros de largo, 12<sup>m</sup>,60 de ancho y 13 de cota media. El enlosado central medía 4<sup>m</sup>,44 de latitud.

La figura 89.<sup>a</sup> de la lámina 7.<sup>a</sup> representa los perfiles adoptados para las vías más suntuosas. Empezábase por desmontar, si era necesario, hasta encontrar terreno sólido; se igualaba y apisonaba el fondo de la zanja, *gremium*, y en ciertos casos, cuando la resistencia no parecía suficiente, se hincaban pilotes; se tendía una capa de arena de 0<sup>m</sup>,10 á 0<sup>m</sup>,15 de espesor ó un lecho de mortero de 0<sup>m</sup>,025 de grueso, y encima se construían cuatro macizos de fábrica en el orden siguiente:

1.º El *statumen*, basamento compuesto de varias hiladas de losas groseramente desbastadas, reservando las mayores para la parte inferior; las piedras se tomaban con mortero muy duro, ó en su defecto con arcilla. El espesor de este cimientó variaba entre uno y dos pies romanos (2), según era el terreno más ó menos resistente.

2.º El *rudus* ó *ruderatio*, hormigón constituído con argamasa y cantos rodados, piedra partida ó fragmentos de ladrillo, que se comprimía fuertemente con pisones de calzos de hierro (*fistuca*), y que formaba una capa de 0<sup>m</sup>,25 de grueso después de la consolidación. Á veces se reemplazaba con greda el mortero.

3.º El *nucleus*, ó lecho de 0<sup>m</sup>,30 á 0<sup>m</sup>,50 de espesor, construído de hormigón más fino que el anterior, en que la piedra ó el ladrillo se substituían con gravilla ó arena gruesa, y que se ejecutaba por tongadas pequeñas bien comprimidas.

4.º Sobre el núcleo se disponía el pavimento (*summa crusta* ó *sum-*

(1) Las descripciones y dibujos están tomadas de la obra de Leger, *Les travaux publics, les mines et la métallurgie aux temps des Romains*: París, 1875.

(2) Un pie romano = 0<sup>m</sup>,295.

*num dorsum*), dándole bombeo muy acentuado para que escurriesen las aguas.

El pavimento tenía á veces más de 0<sup>m</sup>,30 de grueso, y se componía de losas cuadradas ó irregulares, en ocasiones de mármol, como en las cercanías de Roma ó entre Gaeta y Capua, en la vía Appia; de empedrado más ó menos perfecto, y á menudo de capas de piedras de diferentes tamaños, algo parecidas á los firmes modernos, como con razón dice el Sr. Saavedra. La diferencia esencial estriba en que en las calzadas importantes los romanos enlazaban con argamasa los materiales del firme, ya fuesen losas, adoquines ó piedras irregulares, y no era raro reemplazar la mezcla común con pasta puzolánica, adquiriendo así la substancia aglutinante dureza tal, que no se pueden atacar con el pico los restos que hoy se descubren.

La figura señala en la parte de la derecha un pavimento formado por adoquines bien labrados y embutidos en el núcleo; y en la de la izquierda aparece constituido el pavimento, en 0<sup>m</sup>,15 de grueso, por una capa de hormigón ejecutada con cantos rodados ó partidos, y de suerte que los mayores queden en la superficie.

La descripción que precede se refiere á la faja central de la calzada (*agger*); á los costados se dejaban, por lo común, á modo de las aceras de nuestras calles, andenes elevados, de unos 0<sup>m</sup>,59 de anchura (*margines*), formados á veces de piedra labrada, y otras de una fila de maestras, llamadas *umbones* que, sentadas en la masa del núcleo, servían de contención á anchos paseos cubiertos de losas, hormigón ú otros materiales más económicos. A distancias iguales, pero que variaban de una vía á otra entre 18 y 20 metros, se colocaban maestras más grandes y elevadas que las corrientes, sin duda para servir de apeaderos y estribos á los jinetes: en vías lujosas afectaban forma de escaleras con dos ó tres peldaños; á menudo eran simples hitos de piedra, de 0<sup>m</sup>,45 de lado y 0<sup>m</sup>,67 de altura. La misma figura 89.<sup>a</sup> y la 90.<sup>a</sup>, que dibuja el perfil transversal de la vía Appia, representan las disposiciones indicadas. En cuanto á la última, conviene advertir: 1.<sup>o</sup>, que el ancho normal contado entre las aristas interiores de las cunetas era de poco más de nueve metros; 2.<sup>o</sup>, que los paseos se asentaban sobre un macizo formado por el *statumen* y el *rudus*, que corrían en toda la extensión del perfil, y que la capa de hormigón se elevaba hasta la rasante de las fajas laterales, colocando en su superficie piedras mayores; y 3.<sup>o</sup>, que los mismos paseos presentaban inclinación pronunciada hacia las cunetas.

En las vías de menor importancia se disminuía el ancho, y con fre-

cuencia se suprimían los paseos. Así se efectuaba por lo común en los caminos vecinales. La figura 91.<sup>a</sup> es el perfil transversal de la calzada de Orleans á Chartres: el macizo se compone de las cuatro capas indicadas, con ligerísimas variaciones; el suelo es de adoquines, y la anchura entre las aristas superiores del terraplén mide seis metros. La figura 92.<sup>a</sup> señala el perfil de otra vía vecinal: la cimentación es más sencilla que en los casos anteriores; el ancho no pasa de tres metros entre las aristas exteriores de las maestras, y ofrece la particularidad de que el pavimento se compone de lajas de pizarra puestas de canto ó inclinadas para aumentar el espesor, y de un encintado de adoquines grandes que facilitaban el movimiento de las caballerías.

Para terminar, conviene insistir en que los firmes, tales como hoy se construyen, no eran desconocidos por los romanos: ejemplos pudieran citarse de pavimentos de pedernal machacado y aglutinante de gravilla, así como de afirmados en que la piedra se reemplazaba con escorias provenientes de explotaciones metalúrgicas. Mas, como indica el Sr. Saavedra, estos procedimientos, si bien se aplicaron en vasta escala, sólo se generalizaron en las provincias de fuera de Italia.

## APÉNDICE NÚM. 3.

### DATOS ESTADÍSTICOS.

Después de impreso todo lo que precede, se ha publicado un tomo de la *Memoria de Obras públicas*, en que se estampan los datos relativos á carreteras del Estado, de las provincias y de los pueblos, en 31 de Diciembre de 1890. Como los guarismos que se han consignado en diferentes lugares de este libro se refieren al final del año anterior, se ha creído oportuno incluir en un apéndice las rectificaciones que deben hacerse en la longitud de la red y en los gastos originados por la conservación, para que se conozcan las últimas noticias suministradas por la Dirección general.

**Extensión de la red.**—CARRETERAS DEL ESTADO.—El cuadro de la página 12 debe reemplazarse con el siguiente, que marca cómo se descomponían en 31 de Diciembre de 1890 los 57.542 kilómetros, que en aquella fecha se hallaban incluídos en el plan:

|                                             | Kilómetros. |
|---------------------------------------------|-------------|
| En explotación.....                         | 27.613      |
| En construcción.....                        | 3.997       |
| En proyecto aprobado.....                   | 2.741       |
| En estudio.....                             | 10.696      |
| Sin estudiar.....                           | 11.717      |
| Abandonados ó á cargo de Corporaciones..... | 778 (1)     |
| <i>Total</i> .....                          | 57.542      |

En 1889 el plan de carreteras del Estado contenía 57.101 kilóme-

(1) En esta longitud se comprenden, no sólo las carreteras que abandonó el Estado en 1870 y de que no se ha vuelto á encargar, según se expresó en la nota de las páginas 12 y 13, sino algunas que conservan las Diputaciones provinciales y los pueblos, y aquellas travesías que, con arreglo á la Ley, no han de estar al cuidado de la Administración central.

tros: ha habido, pues, un aumento de 441, correspondiente á vías que se incluyeron en virtud de leyes especiales.

**CARRETERAS PROVINCIALES Y VECINALES.**—La prueba más concluyente del desorden que reina en este punto, y sobre el cual se llamó la atención en la página 13, es que en la Memoria correspondiente al año 1890 se fijan los mismos guarismos que en la del 89 y en varias de las anteriores. Admitir que no se construye ni estudia un solo kilómetro de carretera por las provincias y los pueblos, es absurdo, cuando todo el mundo sabe que hay Diputaciones como las de Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Coruña, Pontevedra, etc., etc., que consagran anualmente fondos de alguna entidad á servicios tan importantes: sólo deficiencias administrativas pueden explicar que se carezca de datos estadísticos. Á falta de otros, se conservan los que se consignaron en la citada página 13.

**EXTENSIÓN TOTAL DE LA RED.**—Las variaciones ocurridas en la situación de las carreteras del Estado durante el año 1890, modifican en la siguiente forma el cuadro de la página 14, relativo al desarrollo del sistema general de caminos ordinarios:

|                                                                   | Kilómetros.    |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|
| En explotación.....                                               | 52.608         |
| En construcción.....                                              | 6.667          |
| En proyecto aprobado.....                                         | 6.757          |
| En estudio.....                                                   | 13.615         |
| Sin estudiar.....                                                 | 40.881         |
| Carreteras del Estado abandonadas ó á cargo de Corporaciones..... | 778            |
| <i>Total</i> .....                                                | <u>121.306</u> |

Las diferencias entre los números de ambos cuadros son tan pequeñas, que subsisten cuantas consideraciones se hicieron en las páginas 15 á 18.

**Gastos de conservación.**—Deduciéndolos de los guarismos que se encuentran en la Memoria acabada de publicar, por el mismo método que se puntualizó en las páginas 254 y 255, se ha formado el resumen que va á continuación, y que se refiere sólo á las carreteras conservadas por el Estado:

## GASTOS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN 1890.

| ORDEN<br>DE LAS CARRETERAS.    | Longitud.<br>—<br>Kilómetros. | Gastos.<br>—<br>Pesetas. | Gasto medio<br>por kilómetro.<br>—<br>Pesetas. |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|
| 1. <sup>o</sup>                | 6.887                         | 5.013.503                | 728                                            |
| 2. <sup>o</sup>                | 8.860                         | 4.882.992                | 551                                            |
| 3. <sup>o</sup>                | 12.374                        | 5.969.313                | 482                                            |
| Totales y gasto medio general. | 28.121 (1)                    | 15.865.808               | 564                                            |

Comparando el cuadro precedente con el análogo de la página 255, se observa: 1.<sup>o</sup>, que en 1890 ha resultado más cara que en 1889 la conservación por kilómetro de las carreteras de primer orden; bastante más barata la de las de segundo, y algo más económica también la de las de tercero; 2.<sup>o</sup>, que el coste medio ha descendido de 590 á 564 pesetas, obteniéndose en resumen una rebaja kilométrica de 4,4 por 100.

Las diferencias señaladas no invalidan las consideraciones que se hicieron en el artículo III del capítulo II de la tercera Sección.

(1) No se explica la causa de que este número sea mayor que el de 27.613 que la propia Memoria atribuye á la longitud de carreteras construídas.





# ÍNDICE.

|                                                                         | Páginas. |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|
| PRÓLOGO.....                                                            | 5        |
| <i>Importancia de las carreteras</i> .....                              | 5        |
| <i>Apuntes históricos</i> .....                                         | 6        |
| Edad antigua.....                                                       | 6        |
| Edad media.....                                                         | 8        |
| Edad moderna.....                                                       | 9        |
| Extensión de las redes de carreteras en algunas naciones de Europa..... | 15       |
| PLAN DE LA OBRA.....                                                    | 19       |

## SECCION I.—VEHÍCULOS Y MOTORES.

### CAPÍTULO I.—VEHÍCULOS.

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Disposición general..... | 21 |
| Ruedas.....              | 22 |
| Ejes.....                | 25 |
| Frenos.....              | 25 |

### CAPÍTULO II.—MOTORES.

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Motores que se emplean y modo de disponer el tiro..... | 26 |
| Peso de los motores.....                               | 27 |
| Cargas que pueden arrastrar.....                       | 28 |
| Velocidades y duración de la marcha.....               | 30 |
| Esfuerzo desarrollado.....                             | 31 |

## SECCION II.—DESCRIPCIÓN Y EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

|                    |    |
|--------------------|----|
| CLASIFICACIÓN..... | 37 |
|--------------------|----|

## CAPÍTULO I.—OBRAS DE EXPLANACIÓN.

|                               | Páginas |
|-------------------------------|---------|
| I.—DESCRIPCIÓN.....           | 39      |
| Ancho de la explanación.....  | 39      |
| Desmontes y terraplenes.....  | 40      |
| Túneles y trompas.....        | 40      |
| Taludes.....                  | 41      |
| Caja.....                     | 42      |
| Paseos y andenes.....         | 43      |
| Cunetas.....                  | 46      |
| II.—EJECUCIÓN.....            | 48      |
| Replanteo.....                | 48      |
| Desmontes y terraplenes.....  | 49      |
| Desmontes.....                | 49      |
| Terraplenes.....              | 51      |
| Rectificación definitiva..... | 53      |
| Refinos.....                  | 53      |

## CAPÍTULO II.—OBRAS DE FÁBRICA Ó DE ARTE.

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| I.—MUROS.....                                                       | 54 |
| Muros de sostenimiento.....                                         | 54 |
| Formas.....                                                         | 54 |
| Dimensiones.....                                                    | 56 |
| Pretilos.....                                                       | 56 |
| Muros de contención.....                                            | 57 |
| II.—OBRAS PARA SALVAR CORRIENTES DE AGUA Ó FUERTES DEPRESIONES..... | 57 |
| Primer grupo. Badenes.....                                          | 58 |
| Segundo grupo. Sifones.....                                         | 59 |
| Tercer grupo. Clasificación.....                                    | 60 |
| Caños.....                                                          | 60 |
| Tajeas.....                                                         | 62 |
| Alcantarillas, pontones y puentes.....                              | 65 |
| Modelos oficiales.....                                              | 66 |
| III.—CRUZAMIENTOS DE CARRETERAS CON OTRAS OBRAS.....                | 67 |
| Clasificación.....                                                  | 67 |
| Pasos á nivel.....                                                  | 67 |
| Pasos superiores é inferiores.....                                  | 67 |

## CAPÍTULO III.—FIRMES.

|                                                                      | Páginas. |
|----------------------------------------------------------------------|----------|
| I.—FIRMES DE PIEDRA PARTIDA.....                                     | 69       |
| <i>Condiciones de establecimiento</i> .....                          | 69       |
| Condiciones generales á que han de satisfacer.....                   | 69       |
| Firmes antiguos.....                                                 | 69       |
| Firmes de Trésaguet.....                                             | 70       |
| Firmes de Mac-Adam.....                                              | 72       |
| Cimientos.....                                                       | 72       |
| Perfil transversal del firme.....                                    | 73       |
| Condiciones del material.....                                        | 76       |
| Tamaño de las piedras.....                                           | 77       |
| Extensión de la piedra y consolidación del afirmado.....             | 78       |
| Firmes de Telford.....                                               | 83       |
| Firmes modernos.....                                                 | 85       |
| <i>Modo de ejecución de las obras</i> .....                          | 87       |
| Asiento sólido del firme.....                                        | 87       |
| Elección de materiales.....                                          | 89       |
| Diversas clases de piedra empleadas en los firmes.....               | 89       |
| Elección del material para recebo.....                               | 93       |
| Preparación de la piedra.....                                        | 93       |
| Machaqueo á mano.....                                                | 93       |
| Machaqueo mecánico.....                                              | 94       |
| Comparación de los machaqueos á brazo y á máquina....                | 95       |
| Extensión de la piedra y el recebo.....                              | 97       |
| Volúmenes que han de acopiarse.....                                  | 97       |
| Apilamiento y recepción de los acopios de piedra macha-<br>cada..... | 99       |
| Extensión de los materiales.....                                     | 100      |
| Consolidación artificial.....                                        | 101      |
| Cilindrado ordinario.....                                            | 101      |
| Cilindrado á vapor.....                                              | 104      |
| Apisonamiento.....                                                   | 108      |
| II.—FIRMES EMPEDRADOS.....                                           | 109      |
| <i>Adoquinados</i> .....                                             | 109      |
| Cimentación.....                                                     | 109      |
| Jointas.....                                                         | 111      |
| Adoquines.....                                                       | 112      |
| Naturaleza.....                                                      | 112      |
| Formas y dimensiones.....                                            | 114      |
| Disposición de los adoquinados.....                                  | 115      |
| Planta.....                                                          | 115      |
| Perfil transversal.....                                              | 116      |

|                                                              | Páginas. |
|--------------------------------------------------------------|----------|
| Construcción de adoquinados.....                             | 116      |
| Paralelo entre adoquinados y firmes de piedra machacada..... | 118      |
| Construcción y conservación.....                             | 118      |
| Tracción.....                                                | 118      |
| Comodidad para el público.....                               | 119      |
| Carreteras empedradas.....                                   | 119      |
| Firmes mixtos.....                                           | 121      |
| <i>Firmes de cuñas y morrillos.</i> .....                    | 121      |
| Firmes de cuñas.....                                         | 121      |
| Empedrados de morrillos.....                                 | 122      |
| III.—FIRMES ENLOSADOS.....                                   | 123      |
| Enlosados generales.....                                     | 123      |
| Carriles de losas.....                                       | 125      |
| IV.—FIRMES DE LADRILLO.....                                  | 127      |
| Firmes holandeses.....                                       | 127      |
| Firmes americanos.....                                       | 127      |
| V.—FIRMES DE MADERA.....                                     | 128      |
| Entarugados.—Consideraciones generales.....                  | 128      |
| Entarugados sobre tablonos y arena.....                      | 131      |
| Entarugados sobre arena.....                                 | 132      |
| Entarugados sobre enrejado de hierro.....                    | 132      |
| Entarugados sobre base de hormigón.....                      | 133      |
| Pavimentos de tarugos irregulares.....                       | 135      |
| VI.—FIRMES ASFÁLTICOS.....                                   | 136      |
| Firmes de betún asfáltico.....                               | 137      |
| Firmes de asfalto comprimido.—Descripción.....               | 137      |
| Ventajas é inconvenientes.....                               | 139      |
| Ejecución de los firmes.....                                 | 142      |
| Reparos.....                                                 | 145      |
| Pavimentos de prismas asfálticos.....                        | 145      |
| VII.—ANDENES Y ACERAS.....                                   | 147      |
| Andenes.....                                                 | 147      |
| Aceras.....                                                  | 147      |
| Aceras enlosadas.....                                        | 148      |
| Aceras asfaltadas.....                                       | 149      |
| Aceras de mortero de cemento.....                            | 151      |
| Aceras de morrillo y de mosaico.....                         | 152      |
| Aceras de cerámica.....                                      | 152      |
| Aceras de madera.....                                        | 153      |

#### CAPÍTULO IV.—OBRAS ACCESORIAS.

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <i>Clasificación</i> .....        | 154 |
| I.—OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA..... | 154 |

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| Cunetas de coronación .....                                        | 154 |
| Paranieves.....                                                    | 155 |
| Rectificaciones y desvíos de cauces.....                           | 155 |
| Caminos provisionales.....                                         | 155 |
| Caminos de servidumbre.....                                        | 156 |
| Cercas de heredades.....                                           | 156 |
| Pretils, malecones y guardarruedas.....                            | 157 |
| Postes indicadores.....                                            | 158 |
| Kilométricos y miriamétricos.....                                  | 158 |
| De rasante.....                                                    | 159 |
| De límites de provincia.....                                       | 159 |
| De bifurcación de caminos.....                                     | 159 |
| De nieves.....                                                     | 160 |
| Casillas de peones camineros.....                                  | 160 |
| Pozos, fuentes y abrevaderos.....                                  | 162 |
| Otras obras accesorias.....                                        | 162 |
| II.—ARBOLADO.....                                                  | 163 |
| <i>Condiciones de establecimiento</i> .....                        | 163 |
| Ventajas é inconvenientes.....                                     | 163 |
| Disposición en que deben quedar los árboles.....                   | 163 |
| Elección de especies.....                                          | 164 |
| <i>Viveros</i> .....                                               | 165 |
| Generalidades.....                                                 | 165 |
| Labores preparatorias.....                                         | 166 |
| Eras.....                                                          | 166 |
| Abonos.....                                                        | 167 |
| Riegos.....                                                        | 167 |
| Clasificación de los métodos de propagación de árboles... ..       | 167 |
| Propagación ovípara.—Semillas.....                                 | 167 |
| Época de la siembra.....                                           | 168 |
| Siembra en almáciga.....                                           | 168 |
| Cuidados que requieren las almácigas.....                          | 169 |
| Traslación de los árboles á otros cuarteles.....                   | 169 |
| Cuidados que requieren las plantas en las eras de crecimiento..... | 170 |
| Propagación vivípara.—Clasificación.....                           | 172 |
| Propagación por estaca ó plantón.....                              | 172 |
| Propagación por acodo.....                                         | 173 |
| Precauciones que deben observarse en los viveros.....              | 174 |
| Guía de los árboles.....                                           | 174 |
| Alternancia de cultivos.....                                       | 175 |
| <i>Plantación definitiva</i> .....                                 | 175 |
| Operaciones previas.....                                           | 175 |
| Desplatación.....                                                  | 176 |

|                                       | Páginas. |
|---------------------------------------|----------|
| Trasplante.—Manera de ejecutarlo..... | 177      |
| Trasplante de árboles grandes.....    | 178      |
| Riegos y defensas.....                | 179      |

### SECCION III.—CONSERVACIÓN Y REPARO DE CARRETERAS.

|                   |     |
|-------------------|-----|
| INTRODUCCIÓN..... | 181 |
|-------------------|-----|

#### CAPÍTULO I.—OBRAS DE EXPLANACIÓN Y FÁBRICA.

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Obras de explanación.—Cunetas..... | 182 |
| Andenes y paseos.....              | 183 |
| Taludes.....                       | 184 |
| Rasantes.....                      | 184 |
| Obras de fábrica.....              | 184 |

#### CAPÍTULO II.—FIRMES.

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| I.—FIRMES DE PIEDRA PARTIDA.....                  | 186 |
| <i>Consideraciones generales</i> .....            | 186 |
| Importancia de la conservación de firmes.....     | 186 |
| Organización del servicio.....                    | 187 |
| Desperfectos de los firmes.....                   | 189 |
| Clasificación de los métodos de conservación..... | 190 |
| <i>Conservación por bacheos</i> .....             | 191 |
| Método de Dupuit.....                             | 191 |
| Conservación.....                                 | 192 |
| Reparación.....                                   | 197 |
| Resumen.....                                      | 199 |
| Otros métodos de bachear.....                     | 201 |
| Sistema de Dumas.....                             | 201 |
| Sistema de Monnet.....                            | 201 |
| Extracción de hielo y nieves.....                 | 202 |
| Otros trabajos de conservación.....               | 204 |
| Riego.....                                        | 204 |
| Apisonamiento.....                                | 205 |
| <i>Conservación por recargos</i> .....            | 205 |
| Exposición del sistema.....                       | 205 |
| Espesor de los recargos.....                      | 205 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Medios que han de emplearse para no interrumpir la circulación..... | 206 |
| Conservación de calles.....                                         | 207 |
| <i>Comparación de los dos sistemas</i> .....                        | 209 |
| Comodidad del público.....                                          | 209 |
| Facilidad de la tracción.....                                       | 210 |
| Material.....                                                       | 211 |
| Personal.....                                                       | 212 |
| Resumen.....                                                        | 213 |
| <i>Acopios y herramientas</i> .....                                 | 214 |
| Acopios.....                                                        | 214 |
| Herramientas.....                                                   | 215 |
| Escobas.....                                                        | 215 |
| Rastras.....                                                        | 219 |
| Otras herramientas.....                                             | 221 |
| II.—EMPEDRADOS.....                                                 | 221 |
| Desperfectos en los adoquinados.....                                | 221 |
| Reparo de adoquines aislados.....                                   | 222 |
| Reparos por trozos.....                                             | 222 |
| Reconstrucción total.....                                           | 223 |
| Materiales.....                                                     | 223 |
| Otros trabajos que reclaman los adoquinados.....                    | 223 |
| Extracción de polvo y barro.....                                    | 223 |
| Empleo del cilindro compresor.....                                  | 223 |
| Relleno de juntas.....                                              | 224 |
| Organización del servicio.....                                      | 224 |

## CAPÍTULO III.—OBRAS ACCESORIAS.

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| I.—OBRAS DE TIERRA Y FÁBRICA.....            | 225 |
| II.—ARBOLADO.....                            | 225 |
| <i>Defensas</i> .....                        | 226 |
| Sequedad del suelo.....                      | 226 |
| Riegos.....                                  | 226 |
| Binazones ó binas.....                       | 226 |
| Cubiertas.....                               | 227 |
| Plantaciones.....                            | 227 |
| Ardor del sol.....                           | 227 |
| Accidentes.....                              | 228 |
| <i>Podas</i> .....                           | 228 |
| Consideraciones generales.....               | 228 |
| Épocas en que deben podarse los árboles..... | 229 |
| Ramas que deben suprimirse en las podas..... | 230 |



|                                                    | Páginas. |
|----------------------------------------------------|----------|
| Manera de efectuar las supresiones. ....           | 232      |
| Supresión de brotes. ....                          | 233      |
| Herramientas más usadas en las podas. ....         | 233      |
| Diferentes sistemas de podas. ....                 | 233      |
| Poda de espaldera. ....                            | 234      |
| Poda belga ó de columna. ....                      | 234      |
| Poda de cono. ....                                 | 234      |
| Poda progresiva ó de pirámide. ....                | 235      |
| Poda de árboles sin guía. ....                     | 236      |
| <i>Explotación y renovación del arbolado.</i> .... | 236      |
| Explotación. ....                                  | 236      |
| Renovación. ....                                   | 237      |
| Renovación parcial. ....                           | 237      |
| Renovación total. ....                             | 237      |

#### CAPÍTULO IV.—AVALÚO DE LOS GASTOS DE CONSERVACIÓN.

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| INTRODUCCIÓN. ....                                                 | 238 |
| I.—CARRETERAS CONSERVADAS POR BACHEOS. ....                        | 239 |
| Principios de Dupuit. ....                                         | 239 |
| Determinación del desgaste. ....                                   | 241 |
| Por medición de los detritos. ....                                 | 241 |
| Por catas y cubicaciones. ....                                     | 242 |
| Por la regla de Mary. ....                                         | 243 |
| Por la frecuentación y la calidad de los materiales. ....          | 243 |
| Determinación de la frecuentación. ....                            | 244 |
| Determinación de la calidad de los materiales. ....                | 246 |
| Expresión general de los gastos. ....                              | 247 |
| Aplicaciones de las teorías precedentes. ....                      | 249 |
| Longitud del trozo á cargo de un peón. ....                        | 250 |
| Comparación económica de diversos materiales. ....                 | 250 |
| Otras fórmulas propuestas para valuar los gastos. ....             | 251 |
| II.—CARRETERAS CONSERVADAS POR RECARGOS. ....                      | 251 |
| Determinación de la fórmula general. ....                          | 251 |
| Valor de $V$ . ....                                                | 253 |
| Valor de $V''$ . ....                                              | 253 |
| Valor de $p'$ . ....                                               | 253 |
| Período entre dos recargos. ....                                   | 254 |
| III.—GASTOS DE CONSERVACIÓN Y REPARO DE LAS CARRETERAS ESPA-       |     |
| ÑOLAS. ....                                                        | 254 |
| Datos estadísticos. ....                                           | 254 |
| Comparación de los gastos medios en España, Francia é Italia. .... | 256 |

CAPÍTULO V.—ORGANIZACIÓN EN ESPAÑA DEL SERVICIO  
DE CONSERVACIÓN.

|                                                                            | Páginas. |
|----------------------------------------------------------------------------|----------|
| I.—PERSONAL.....                                                           | 259      |
| Peones camineros y capataces.....                                          | 259      |
| Sobrestantes y Ayudantes.....                                              | 262      |
| Ingenieros subalternos y jefes.....                                        | 262      |
| II.—PRINCIPALES DISPOSICIONES ADMINISTRATIVAS.....                         | 263      |
| Consignaciones anuales y mensuales.....                                    | 263      |
| Clasificación de carreteras y personal afecto al servicio.....             | 264      |
| Acopios.....                                                               | 265      |
| Mano de obra y disposiciones generales.....                                | 266      |
| Reglamento para la conservación y policía de las carreteras.....           | 266      |
| FORMULARIOS PARA LA REDACCIÓN DE PROYECTOS DE ACOPIOS DE CONSERVACIÓN..... | 269      |
| Pliego de condiciones facultativas.....                                    | 269      |
| Condiciones particulares y económicas.....                                 | 275      |
| Cuadro núm. 1.....                                                         | 277      |

SECCION IV.—PROYECTOS DE CARRETERAS.

CAPÍTULO I.—ESTUDIOS SOBRE TRACCIÓN, PENDIENTES  
Y CURVAS.

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| I.—ESTUDIO DE LA TRACCIÓN, PRESCINDIENDO DE LA INFLUENCIA DE PENDIENTES..... | 280 |
| Ensayos de Morin.....                                                        | 280 |
| Rozamiento de rodadura.....                                                  | 280 |
| Tracción de vehículos.....                                                   | 281 |
| Ensayos de Dupuit.....                                                       | 285 |
| Crítica de los trabajos de Morin.....                                        | 285 |
| Procedimientos empleados por Dupuit.....                                     | 287 |
| Resultados obtenidos.....                                                    | 287 |
| Comparación de los procedimientos de Morin y de Dupuit.....                  | 289 |
| Influencia de las llantas.....                                               | 289 |
| Influencia del diámetro de las ruedas.....                                   | 290 |
| Coefficientes de tiro.....                                                   | 290 |
| II.—INFLUENCIA DE LAS PENDIENTES EN LA TRACCIÓN.....                         | 293 |
| Tiro, fatiga y cargas.....                                                   | 293 |
| Tiro.....                                                                    | 293 |
| Fatiga.....                                                                  | 295 |

|                                                                     | Páginas. |
|---------------------------------------------------------------------|----------|
| Límite de cargas.....                                               | 297      |
| <i>Reducción de perfiles longitudinales á tramos á nivel.</i> ..... | 299      |
| Método de Favier.....                                               | 299      |
| Método de Durand-Claye.....                                         | 301      |
| Método de Lechalas.....                                             | 302      |
| Principios en que se funda.....                                     | 302      |
| Aplicación del método.....                                          | 305      |
| Longitud horizontal equivalente.....                                | 306      |
| III.—ELECCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES.....                     | 307      |
| Importancia del problema.....                                       | 307      |
| Fijación de la pendiente máxima.....                                | 309      |
| Distribución de pendientes.....                                     | 311      |
| Resumen.....                                                        | 312      |
| IV.—INFLUENCIA DE LAS CURVAS.....                                   | 313      |
| Inconvenientes de las curvas.....                                   | 313      |
| Límites de los radios.....                                          | 315      |
| Resumen.....                                                        | 316      |

## CAPÍTULO II.—CONDICIONES GENERALES Á QUE HAN DE SATISFACER LAS TRAZAS.

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| Clasificación de las condiciones.....  | 317 |
| Consideraciones administrativas.....   | 318 |
| Consideraciones políticas.....         | 319 |
| Consideraciones técnicas.....          | 319 |
| Comparación de trazas.....             | 320 |
| Variaciones de trazados.....           | 321 |
| Operaciones que exige un proyecto..... | 322 |

## CAPÍTULO III.—RECONOCIMIENTOS.

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| I.—CONFIGURACIÓN DE TERRENOS.....                              | 323 |
| Configuración teórica.....                                     | 323 |
| Configuración real.....                                        | 327 |
| Cumbres y puertos.....                                         | 327 |
| II.—ELECCIÓN DE ZONA.....                                      | 330 |
| Generalidades.....                                             | 330 |
| Clasificación de terrenos.....                                 | 330 |
| <i>Reconocimientos en terrenos llanos y entrellanos.</i> ..... | 331 |
| Terrenos llanos.....                                           | 331 |
| Terrenos entrellanos.....                                      | 332 |
| <i>Reconocimientos en terrenos quebrados.</i> .....            | 333 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| Dificultades que presentan.....                  | 333 |
| Puntos obligados de paso.....                    | 334 |
| Paso de divisorias.....                          | 334 |
| Paso de vaguadas.....                            | 335 |
| Otros puntos obligados.....                      | 336 |
| Traza paralela á una divisoria ó á un valle..... | 337 |
| Traza inmediata á la divisoria.....              | 337 |
| Traza por un valle.....                          | 338 |
| Traza á altura intermedia.....                   | 339 |
| Descenso de un puerto á una vaguada.....         | 340 |
| Descenso por un valle.....                       | 340 |
| Descenso por ladera.....                         | 340 |
| Revueltas.....                                   | 342 |
| Observación general.....                         | 343 |

## CAPÍTULO IV.—TOMA DE DATOS DE CAMPO.

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| I.—DATOS RELATIVOS Á LA ZONA.....                                 | 344 |
| <i>Representación por una base y perfiles transversales</i> ..... | 344 |
| Elementos que deben determinarse.....                             | 344 |
| Plano de la base.....                                             | 345 |
| Perfil de la base.....                                            | 345 |
| Perfiles transversales.....                                       | 346 |
| <i>Representación por curvas á nivel</i> .....                    | 346 |
| Diferentes métodos.....                                           | 346 |
| Procedimiento taquimétrico.....                                   | 347 |
| Planos acotados.....                                              | 347 |
| II.—OTROS DATOS QUE HAN DE TOMARSE EN EL CAMPO.....               | 348 |
| Naturaleza del suelo.....                                         | 349 |
| Naturaleza del subsuelo.....                                      | 349 |
| Dimensiones de obras de fábrica.....                              | 350 |
| Naturaleza y procedencia de materiales.....                       | 350 |
| Jornales de operarios y medios de transporte.....                 | 350 |
| Riqueza y tráfico de la zona.....                                 | 351 |

## CAPÍTULO V.—TRABAJOS DE GABINETE.

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| I.—REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ZONA.....                         | 351 |
| <i>Representación por una base y perfiles transversales</i> ..... | 351 |
| Planta.....                                                       | 351 |
| Perfil longitudinal.....                                          | 352 |
| Perfiles transversales.....                                       | 352 |

|                                                                                                      | Páginas. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Cotas de puntos no nivelados.....                                                                    | 352      |
| Aproximación de longitudes y ordenadas.....                                                          | 353      |
| <i>Representación por curvas á nivel</i> .....                                                       | 353      |
| Determinación de la pendiente máxima en un punto.....                                                | 353      |
| Trazado de una línea de pendiente dada.....                                                          | 354      |
| Intercalación de curvas.....                                                                         | 354      |
| Trazado de una línea quebrada de inclinación constante.....                                          | 354      |
| Enlace de dos puntos por una línea quebrada de inclinación constante.....                            | 354      |
| Determinación de la pendiente constante con que se pueden unir dos puntos sin emplear revueltas..... | 354      |
| II.—ESTUDIO DE LA TRAZA.....                                                                         | 355      |
| <i>Estudio sobre una base y perfiles transversales</i> .....                                         | 355      |
| Estudio del trazado horizontal.....                                                                  | 355      |
| Estudio del trazado vertical.....                                                                    | 356      |
| Perfiles.....                                                                                        | 356      |
| Trazado de rasantes.....                                                                             | 357      |
| Compensación.....                                                                                    | 357      |
| Pendientes, ordenadas y cotas rojas.....                                                             | 358      |
| Dibujo de secciones transversales.....                                                               | 359      |
| Traza definitiva.....                                                                                | 359      |
| Pasos difíciles.....                                                                                 | 359      |
| Travesías de pueblos.....                                                                            | 360      |
| <i>Estudio sobre curvas á nivel</i> .....                                                            | 361      |
| Procedimiento general.....                                                                           | 361      |
| Ejemplo.....                                                                                         | 362      |
| Primer trazado.....                                                                                  | 362      |
| Segundo trazado.....                                                                                 | 363      |
| Tercer trazado.....                                                                                  | 363      |
| III.—REDACCIÓN DEL PROYECTO.....                                                                     | 364      |
| Proyectos de obras de fábrica y accesorias.....                                                      | 364      |
| Mediciones.....                                                                                      | 365      |
| Expropiación.....                                                                                    | 365      |
| Explicación.....                                                                                     | 365      |
| Obras de fábrica y accesorias.....                                                                   | 366      |
| Afirmado.....                                                                                        | 366      |
| Precios.....                                                                                         | 366      |
| Presupuesto y condiciones.....                                                                       | 368      |
| Presupuesto.....                                                                                     | 368      |
| Condiciones.....                                                                                     | 369      |

## CAPÍTULO VI.—MODO DE PRESENTAR EL PROYECTO.

|                                                                                                       | Páginas.   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| I.—CONSIDERACIONES GENERALES Y EXAMEN DE FORMULARIOS.....                                             | 369        |
| Utilidad de los formularios.....                                                                      | 369        |
| Sistema seguido en España para la ejecución de las obras.....                                         | 370        |
| Formularios para la redacción de proyectos de carreteras.....                                         | 371        |
| Formularios de 1859.....                                                                              | 371        |
| Modificaciones de 1863.....                                                                           | 372        |
| Formularios de 1878.....                                                                              | 373        |
| Formularios de 1886.....                                                                              | 374        |
| Documentos que ha de contener un proyecto.....                                                        | 376        |
| Memoria.....                                                                                          | 377        |
| Planos.....                                                                                           | 378        |
| Condiciones.....                                                                                      | 378        |
| Presupuesto.....                                                                                      | 380        |
| Proyectos de obras que se ejecuten por administración.....                                            | 382        |
| II.—OBSERVACIONES DE DETALLE ACERCA DE LOS FORMULARIOS.....                                           | 382        |
| <i>Anexos á la memoria.....</i>                                                                       | <i>383</i> |
| Estado de alineaciones (núm. 4).....                                                                  | 383        |
| Estado de rasantes (núm. 5).....                                                                      | 384        |
| Perfiles gráficos de la cubicación, clasificación y distribución de las<br>excavaciones (núm. 6)..... | 384        |
| Perfil gráfico núm. 1.....                                                                            | 384        |
| Perfil gráfico núm. 2.....                                                                            | 385        |
| Estado de la cubicación del firme (núm. 10).....                                                      | 387        |
| Cálculo de los precios medios del desmonte y del terrapién (núme-<br>ros 11 y 12).....                | 387        |
| Presupuesto para conocimiento de la Administración (núm. 16).....                                     | 388        |
| Expropiaciones.....                                                                                   | 388        |
| Agotamientos.....                                                                                     | 389        |
| Justificación de los precios admitidos para unidades de obras de fá-<br>brica y firme.....            | 389        |
| <i>Condiciones y presupuesto.....</i>                                                                 | <i>390</i> |
| Condiciones.....                                                                                      | 390        |
| Artículo (5).....                                                                                     | 390        |
| Artículo (20).....                                                                                    | 390        |
| Artículo (39).....                                                                                    | 390        |
| Artículo (43).....                                                                                    | 390        |
| Presupuesto.....                                                                                      | 390        |
| Cuadro de precios núm. 1.....                                                                         | 390        |
| Cuadro de precios núm. 2.....                                                                         | 391        |
| Presupuestos parciales.....                                                                           | 391        |

## APÉNDICES.

NÚM. 1.—PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES, INSTRUCCIÓN  
Y FORMULARIOS.

|                                                                                                     | Paginas. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES DE 11 DE JUNIO DE 1886. . . . .                                     | 395      |
| <i>Capítulo I.</i> —Disposiciones generales. . . . .                                                | 395      |
| <i>Capítulo II.</i> —Ejecución de las obras. . . . .                                                | 396      |
| <i>Capítulo III.</i> —Condiciones económicas. . . . .                                               | 401      |
| <i>Capítulo IV.</i> —Modificaciones del proyecto. . . . .                                           | 405      |
| <i>Capítulo V.</i> —Casos de rescisión. . . . .                                                     | 406      |
| <i>Capítulo VI.</i> —Medición, recepción de las obras y liquidación final. . . . .                  | 409      |
| <i>Instrucción de 24 de Agosto de 1886.</i> . . . .                                                 | 412      |
| FORMULARIOS DE 26 DE JUNIO DE 1886 PARA LA REDACCIÓN DE PROYEC-<br>TOS DE CARRETERAS. . . . .       | 415      |
| <i>Instrucciones para su inteligencia y aplicación.</i> . . . .                                     | 415      |
| Latitudes que según su orden se fijan para cada clase de carreteras. . . . .                        | 415      |
| Advertencias. . . . .                                                                               | 416      |
| <i>Carpeta general del proyecto.</i> . . . .                                                        | 419      |
| <i>Documento núm. 1.—Memoria.</i> . . . .                                                           | 421      |
| Primera parte.—Consideraciones relativas al proyecto en general. . . . .                            | 423      |
| Segunda parte.—Descripción del proyecto. . . . .                                                    | 424      |
| Documentos anexas á la memoria. . . . .                                                             | 427      |
| Núm. 1.—Croquis de la provincia. . . . .                                                            | 427      |
| 2.—Plano general. . . . .                                                                           | 427      |
| 3.—Perfil longitudinal general. . . . .                                                             | 428      |
| 4.—Estado de alineaciones. . . . .                                                                  | 429      |
| 5.—Estado de rasantes. . . . .                                                                      | 430      |
| 6.—Perfiles gráficos de la cubicación, clasificación y<br>distribución de las excavaciones. . . . . | 431      |
| 7.—Clasificación del volumen de desmonte en cada<br>trozo. . . . .                                  | 434      |
| 8.—Cubicación de las obras de explanación. . . . .                                                  | 435      |
| 9.—Cubicación de las obras de fábrica. . . . .                                                      | 436      |
| 10.—Estado de la cubicación del firme. . . . .                                                      | 438      |
| 11.—Cálculo del precio medio del desmonte. . . . .                                                  | 439      |
| 12.—Cálculo del precio medio del terraplén. . . . .                                                 | 439      |
| 13.—Cálculo del precio medio de la apertura y arreglo<br>de la caja del firme. . . . .              | 440      |
| 14.—Cálculo del precio medio de la apertura y arre-<br>glo de las cunetas. . . . .                  | 441      |

|                                                                                         | Páginas. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Núm. 15.—Cálculo del precio del metro lineal de firme....                               | 441      |
| 16.—Presupuesto para conocimiento de la Administración.....                             | 442      |
| <i>Documento núm. 2.—Planos</i> .....                                                   | 445      |
| Advertencias relativas á los planos.....                                                | 447      |
| Planos que deben acompañarse.....                                                       | 449      |
| <i>Documento núm. 3.—Pliego de condiciones facultativas</i> .....                       | 451      |
| Advertencias.....                                                                       | 452      |
| Capítulo I.—Descripción de las obras.....                                               | 453      |
| Capítulo II.—Condiciones á que deberán satisfacer los materiales y su mano de obra..... | 455      |
| Capítulo III.—Ejecución de las obras.....                                               | 457      |
| Capítulo IV.—Medición y abono de las obras.....                                         | 461      |
| Capítulo V.—Disposiciones generales.....                                                | 467      |
| <i>Documento núm. 4.—Presupuesto</i> .....                                              | 471      |
| Capítulo I.—Cuadros de precios.....                                                     | 473      |
| Cuadro núm. 1.....                                                                      | 475      |
| Cuadro núm. 2.....                                                                      | 480      |
| Capítulo II.—Presupuestos parciales.....                                                | 483      |
| Presupuestos de las obras de fábrica.....                                               | 484      |
| Capítulo III.—Presupuesto general.....                                                  | 487      |
| Presupuesto de la carretera por trozos.....                                             | 489      |
| Presupuesto de ejecución material.....                                                  | 493      |
| Presupuesto de contrata.....                                                            | 494      |

### NÚM. 2.—CALZADAS ROMANAS.

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| CALZADAS ROMANAS..... | 495 |
|-----------------------|-----|

### NÚM. 3.—DATOS ESTADÍSTICOS.

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| Extensión de la red en 31 de Diciembre de 1890..... | 503 |
| Carreteras del Estado.....                          | 503 |
| Carreteras provinciales y vecinales.....            | 504 |
| Extensión total de la red.....                      | 504 |
| Gastos de conservación en 1890.....                 | 504 |

|              |     |
|--------------|-----|
| ÍNDICE.....  | 507 |
| ERRATAS..... | 523 |





## ERRATAS QUE SE HAN ADVERTIDO.

| Página. | Línea. | Dice.          | Debe decir.     |
|---------|--------|----------------|-----------------|
| 89      | 5      | rezumar        | rezumarse       |
| 134     | 23     | Paris          | Chicago         |
| 165     | 19     | dicotiledones  | monocotiledones |
| 170     | 33     | análogas á las | análogos á los  |
| 172     | 30     | ingerto        | injerto         |
| 215     | 27     | pero           | pero no         |
| 216     | 20     | éste           | ésta            |
| 226     | 25     | desunión       | desección       |
| 324     | 18     | 9,5 y 5        | 12,500 y 5,000  |