

## CAPÍTULO V

### Secciones transversales.

⊙ **76. Generalidades.** — Proyectar con acierto la sección transversal de un camino es problema delicado, al cual debe el ingeniero dedicar la máxima atención. De la sección transversal, depende en proporción importante la capacidad de tráfico del camino; y al mismo tiempo, la sección transversal pesa, fundamentalmente, en el coste de construcción de la vía. Por otra parte, para fijar con acierto una sección transversal, es imprescindible prever el tráfico futuro del camino; y en esta previsión, no sujeta a la rigidez de una fórmula, es el buen sentido del proyectista el que ha de determinar la solución más conveniente. Visión amplia del porvenir y, al mismo tiempo, sentido económico, para no hacer irrealizable, o al menos inconveniente desde el punto de vista económico, el proyecto.

Para coordinar ambas necesidades, es aquí, tal vez más claramente que en ningún otro problema de ingeniería, donde el proyectista ha de tener como guía el lema de *máxima ambición al proyectar, ejecutando de momento sólo aquello que el momento exige, pero haciendo posible para el futuro una ampliación fácil y económica*. Que la falta de visión no constituya en el porvenir un obstáculo insuperable para la ampliación.

Vamos a ver cómo influyen cada uno de los factores que en la fijación del perfil intervienen.

**77. El factor económico del coste de la obra.** — Si un camino de dos vías de circulación cuesta, por m. l., 2 *p*, con tres vías costará, *por lo menos*, 3 *p*; efectivamente, el firme con su cimientto, etc., vendrá siempre aumentado proporcionalmente al incremento del ancho; el movimiento de tierras, en cuanto el terreno no sea transversalmente uniforme, aumentará más que proporcionalmente al incremento de ancho de la vía (fig. 59). La repercusión económica del ancho del camino es, pues, muy grande, máxime si tenemos en cuenta que el aumento del ancho ha de hacerse siempre *por el total que corresponda a una vía completa de circulación*, ya que, hacerlo con dimensiones menores, nada resuelve en la práctica.

**78. El factor económico de explotación de la vía.** — Un camino tiene que servir para un tráfico determinado; la máxima capacidad de circulación con un ancho determinado, exige que el tráfico pueda marchar con la mayor velocidad comercial y la máxima seguridad; la velocidad para lograr el mínimo consumo de combustible ha de poderse mantener lo más uniforme posible.

La determinación del ancho preciso por vía de circulación depende de las dimensiones de los vehículos y su velocidad.

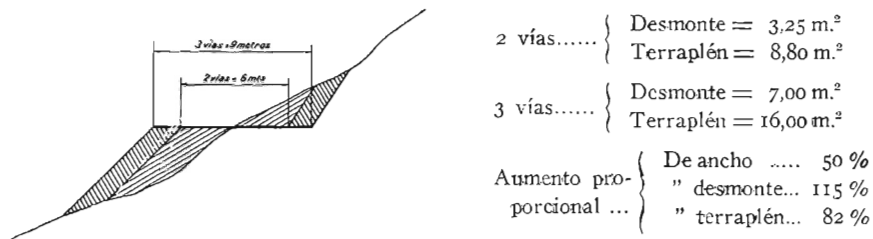


Figura 59.

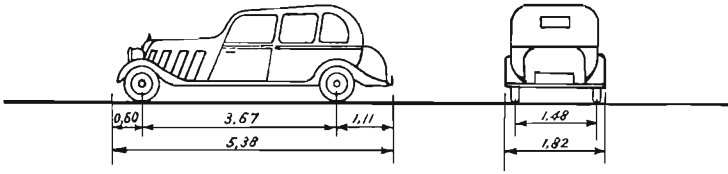
Las dimensiones normales de los vehículos son las acotadas en las figuras 60 y 61; la tendencia en la construcción de vehículos de transporte de mercancías, es, aún hoy, a aumentar sus dimensiones.

El ancho de una vía de circulación está formado por el ancho del vehículo propiamente dicho, más los anchos  $a$  y  $c$  de las zonas que quedan hasta el bordillo y  $b$  entre las vías de circulación; el ancho del vehículo es una cantidad fija; para cada vía se tomará el ancho del vehículo de mayores dimensiones que ha de circular por ella; los anchos  $a$ ,  $b$  y  $c$  dependen de la naturaleza del vehículo y la velocidad de marcha; velocidades altas exigirán mayor dimensión suplementaria. En el gráfico de la figura 62, utilizado para las autoestradas alemanas después de un detenido estudio, puede determinarse el sobreaño total  $s = a + b + c$  preciso, según las diferentes clases de vehículos y su velocidad, sea en recta o en curva.

En el Congreso de Carreteras de Wáshington se fijó el ancho de 3 metros por vía de circulación. En Inglaterra se admite 10 pies (3,05 m.) por cada vía de circulación y 11 pies (3,355 m.) cuando se trata de vías con una elevada proporción de vehículos de gran ancho; el ancho mínimo total admitido es de 20 pies (6,10 m.), excepto en zonas muy poco pobladas.

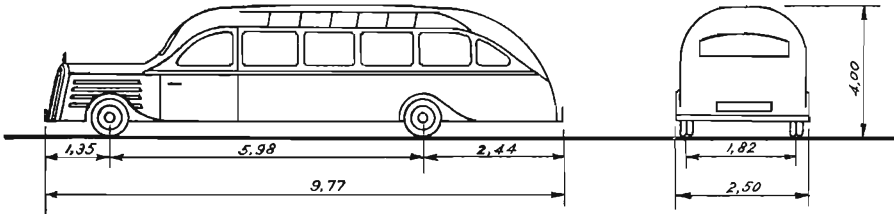
La Instrucción española, para el cálculo de los anchos de las diferentes categorías de caminos, prescribe las siguientes dimensiones mínimas:

*Automóvil de turismo*



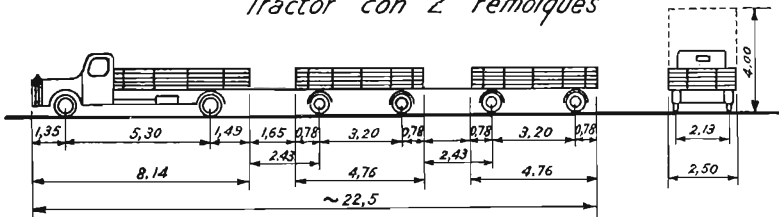
*Diámetro del círculo de giro 14,8 m.*

*Autobuses*



*Diámetro del círculo de giro 19,8 m.*

*Tractor con 2 remolques*



*Diámetro del círculo de giro 18,8 m.*

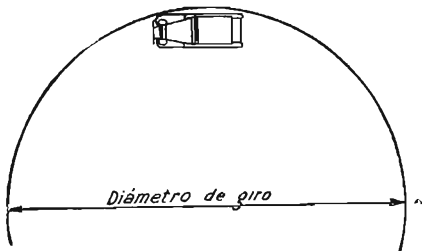
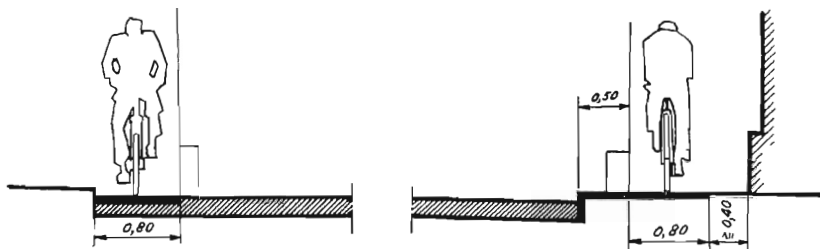
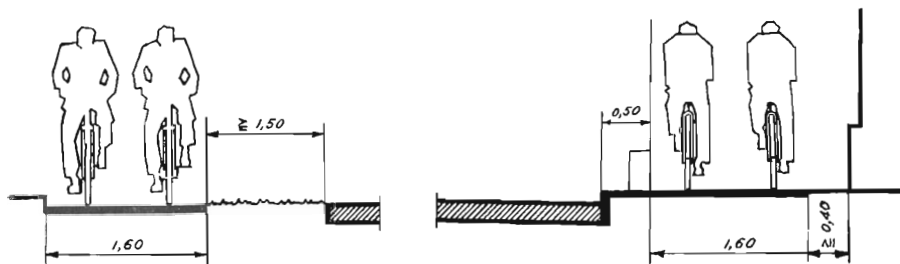


Figura 60.—Dimensiones de los vehículos automóviles, según R. A. L., 1937

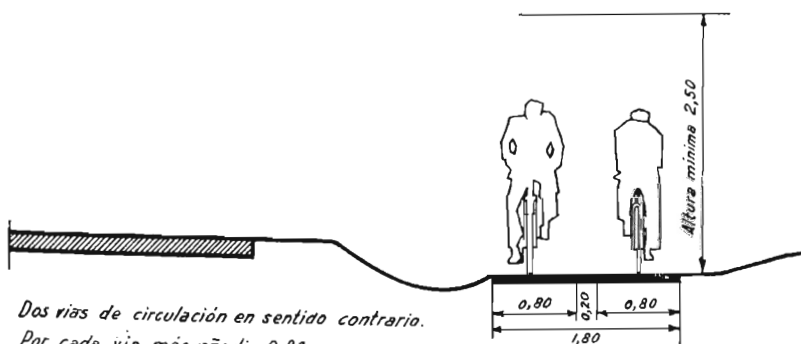


*Una vía de ciclista*



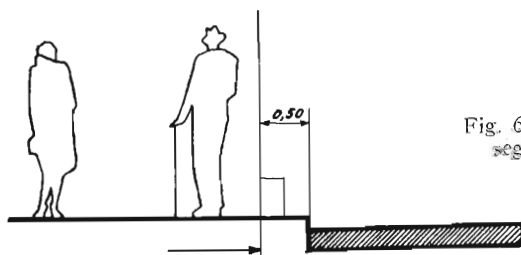
*Dos vías de ciclistas en el mismo sentido.*

*Por cada vía más añadir 0,90 m.*



*Dos vías de circulación en sentido contrario.*

*Por cada vía más añadir 0,80 m.*



*Para cada vía de circulación de peatones 0,80 m.*

Fig. 61. — Dimensiones tipo, según R. A. L., 1937.

a) Caminos nacionales: con una velocidad específica de 60 Km./hora en pleno campo; por vía de circulación, 4 m., para que, utilizando el paseo, puedan coincidir en un momento de apuro tres circulaciones de 3 m. En los tramos a menos de 10 Km. de las poblaciones se prevén tres circulaciones de 3,33 m. cada una.

b) Caminos comarcales: la línea de circulación en pleno campo se supone de un ancho de 3,25 m., teniendo en cuenta que la velocidad específica ha de ser de 45 Km./hora. En las secciones a menos de 10 Km. de las poblaciones, se supone por vía de circulación 3 m.

c) Caminos locales: la vía de circulación se supone de un ancho de 2,50 m., con velocidad específica de 30 Km./hora.

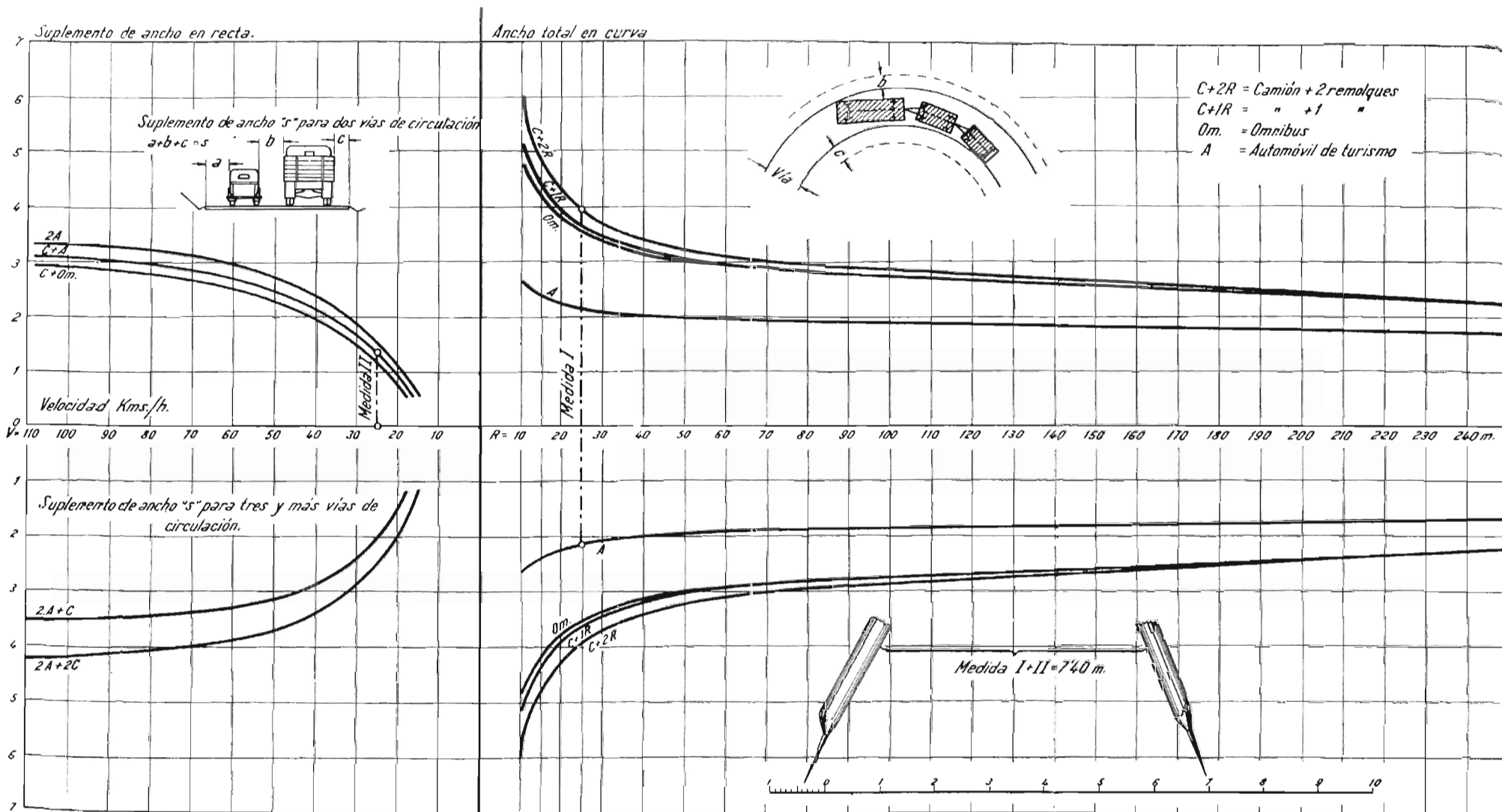
Los usuarios que por los caminos circulan tienen velocidades de régimen muy diferentes; las normales son:

|  |            |                           |            |
|--|------------|---------------------------|------------|
| Automóviles de turismo.....              | 80 km./h.  | = $\frac{80.000}{36.000}$ | = 22 m./s. |
| Autobuses de transporte de viajeros..... | 40 "       | = $\frac{40.000}{36.000}$ | = 11 "     |
| Tracción animal .....                    | 10 "       | = $\frac{10.000}{36.000}$ | = 2 "      |
| Bicicletas .....                         | 18 "       | = $\frac{18.000}{36.000}$ | = 5 "      |
| Peatones.....                            | 3,6 Km./h. | = 1 m./s.                 |            |

La interferencia de vehículos de distinta clase produce una disminución en la capacidad del camino; en el gráfico (fig. 63) (1) se aprecia claramente la influencia del tráfico lento en la disminución del número de vehículos/hora; por esta causa, cuando la intensidad del tráfico es grande, se aumenta en proporción importante la capacidad de la vía, separando las diferentes clases de tráfico de la misma.

La separación de las distintas líneas del tráfico sólo resulta lógica para una gran circulación; de lo contrario, es antieconómico establecer las anchas explanaciones que exige; en zonas de accesos a grandes poblaciones o en arterias de tráfico importante, unión de centros de primera categoría, puede ser económicamente conveniente la separación de los tráficos de lento y rápido. En las zonas donde existe una circulación importante de bicicletas es siempre conveniente separarla del resto del tráfico; la bicicleta constituye un entorpecimiento enorme y un gran peligro para la circulación general; las vías para ciclistas deben estar, a ser posible, físicamente separadas del resto del camino; en general se establecen a ambos lados de la vía, cada una con dirección única; en Holanda,

(1) RICHARD AUBERLEN. De la *Deutsche Strassenwesen*, Berlín.



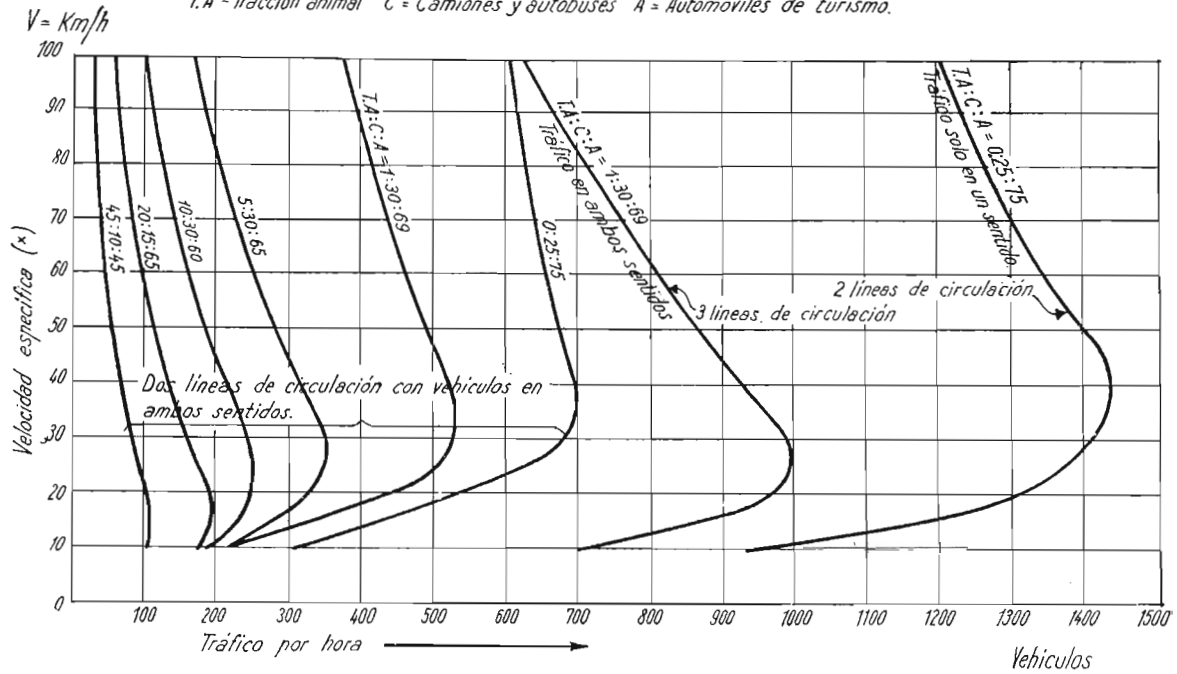
Ejemplo:  $V=30$  Kms./h., alineación recta: encuentro de 1 camión y 1 coche de turismo.  
 Ancho:  $1'70(\text{turismo}) + 2'25(\text{camión}) + 3'05(s) = 7'00$  m.

Ejemplo: encuentro de 1 camión con 2 remolques con 1 coche de turismo en una curva de  $R=25'00$  m.  
 Ancho total: medida I (ancho de curva) + medida II (sobreaancho en recta) = 7'40 m.

Figura 62.

Capacidad de circulación según la naturaleza y velocidad específica  
del tráfico

T.A = Tracción animal C = Camiones y autobuses A = Automóviles de turismo.



(\*) Velocidad específica = velocidad automóviles de turismo.

Figura 63.

donde el número de bicicletas es muy grande, se prescriben los siguientes anchos :

| CIRCULACION           | ANCHO DE LA VIA |                |
|-----------------------|-----------------|----------------|
|                       | A               | B              |
| Menos de 2.000.....   | 1,20 m.         | 1,95 a 2,40 m. |
| De 2.000 a 4.000..... | 1,95 a 3 m.     | 3,00 a 3,90 "  |
| Más de 4.000.....     | —               | 3,90 a 4,95 "  |

La columna *A* da los anchos de pistas en una sola dirección; la *B*, cuando se puede circular en dos direcciones. Hay que tener especial cuidado al proyectar el cruce de las pistas para ciclistas con la circulación general; si es posible, deben disponerse a distinto nivel.

En vías importantes, pero no de tráfico excepcional, resulta conveniente la separación de las dos direcciones del tráfico general; se aumenta algo la capacidad de circulación, especialmente para velocidades medias elevadas, y, desde luego, en gran proporción, la seguridad.

Elementos fundamentales del perfil transversal de un camino son: el firme, los paseos y las cunetas.

El ancho del firme se calcula según el número de vías de circulación que se hayan supuesto precisas y las características de ésta; para tener idea del tráfico de que es capaz cada línea de circulación, se puede suponer el siguiente rendimiento práctico:

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Autobuses y camiones.....         | 1 vehículo cada 4 segundos, o sean 900 vehículos por hora; ancho de vía. 3 metros.  |
| Automóviles de turismo.....       | 1 vehículo cada 2 segundos, o sean 1.800 vehículos a la hora; ancho de vía. 3 metros.   |
| Vehículos de tracción animal..... | 5 vehículos por minuto, o sean 300 vehículos a la hora; ancho de vía, 3 metros.   |
| Bicicletas sin motor.....         | 1 vehículo cada 4 segundos, o sean 15 vehículos por minuto, o 900 vehículos a la hora, en una sola vía de circulación, de 0,80 m. de ancho. |
| Peatones.....                     | Por vía de circulación, 1 peatón por segundo; ancho de vía de peatón, 0,80 metros.  |

El perfil del firme en recta, sin separación de tráfico, tiene un punto alto en su eje y pendiente hacia ambos lados; pendiente que varía del 1



al 3 por 100, según la clase del firme. La razón de la inclinación del perfil transversal del firme es la necesidad de eliminar el agua de lluvia, haciendo que corra rápidamente a la cuneta. La eficaz eliminación del agua es fundamental para la conservación del firme; pero, por otra parte, no es conveniente para el tráfico una pendiente transversal excesiva que resulta no sólo incómoda, sino, además, peligrosa; cuando un vehículo trata de adelantar a otro en un camino, con inclinación transversal excesiva, la acción de la fuerza centrífuga, que en la maniobra se origina, va dirigida en el mismo sentido de la acción de la pendiente y por ello

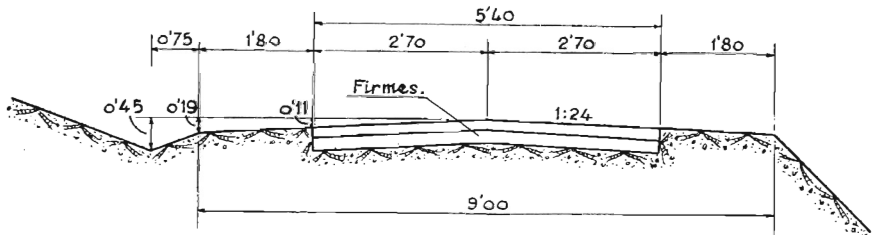


Figura 64.

resulta peligrosa; por esta causa, especialmente con firmes lisos, no es conveniente el empleo de pendientes transversales fuertes; la pendiente transversal debe ser menor, a medida que es menor la rugosidad del firme, o sea su coeficiente de rozamiento transversal por rotación.

En recta pueden tomarse los límites siguientes:

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| Firmes de hormigón .....         | 1 al 1,5 % |
| " bituminosos lisos .....        | 1,5 al 2 % |
| Tratamientos superficiales ..... | 2 al 2,5 % |
| Adoquinados .....                | 2,5 al 3 % |

La sección transversal del firme puede ser un diedro, que tiene por arista el eje del camino; este perfil, tipo americano, se suele emplear para firmes de hormigón hidráulico (fig. 64). Normalmente se usa un arco de círculo, cuya flecha corresponde a la pendiente transversal elegida (figura 65). Se emplean también a veces las parábolas de segundo y tercer grado; en esta última, la inclinación de la tangente es mayor a medida que la curva se separa del eje, y, por tanto, según el perfil se acerca a la cuneta, la pendiente va siendo mayor; ello tiene la ventaja de que es menor la inclinación del perfil en la parte central del camino, la más frecuentada por el tráfico.

La determinación de la curva de sección transversal en los diferentes casos, se hace como sigue:

Círculo: la ecuación, referida a los ejes de la figura 66, es:

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2;$$

de donde:

$$y = R + \sqrt{R^2 - x^2}, \quad [1]$$

La determinación de la magnitud del radio se hace en la condición de que para  $x = a$ ,  $y = f$ ; luego

$$f = R + \sqrt{R^2 - a^2};$$

de donde:

$$R = \frac{f^2 + a^2}{2f};$$

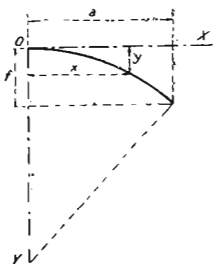


Figura 65.

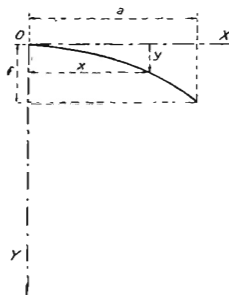


Figura 66.

determinado  $R$  en función de los datos del problema, la ecuación [1] irá dando los valores de  $y$  que corresponden a los distintos de  $x$  y que servirán para construir la plantilla del camino.

Parábola de segundo grado: ecuación

$$y = K x^2, \quad [2]$$

referida a los ejes de la figura 66 para  $x = a$ ,  $y = f$ ; luego

$$f = K a^2; \text{ de donde: } K = \frac{f}{a^2};$$

la ecuación  $y = \frac{f}{a^2} x^2$  determina para cada valor de  $x$  los diferentes valores de  $y$  precisos para construir la plantilla.

Parábola cúbica: la ecuación, referida a los ejes, es:  $y = K x^3$ ; haciendo  $y = f$ ;  $x = a$ , resulta:

$$K = \frac{f}{a^3}; \text{ la ecuación } y = \frac{f}{a^3} x^3$$

da los elementos necesarios para construir la plantilla. En las figuras 65 y 66, para mayor claridad, las flechas están muy exageradas.

El firme del camino, propiamente dicho, queda limitado por dos líneas longitudinales, en las cuales puede o no ir colocado el bordillo: el bordillo o encintado tiene, como función primordial, sostener lateralmente el firme, evitando, como sucede en el caso de que el pavimento quede limitado simplemente por el paseo, que las cargas, al actuar en la zona límite del firme, produzcan su rotura, en la forma que en la figura 67 se indica; en caminos de tráfico intenso, es imprescindible su empleo para la buena

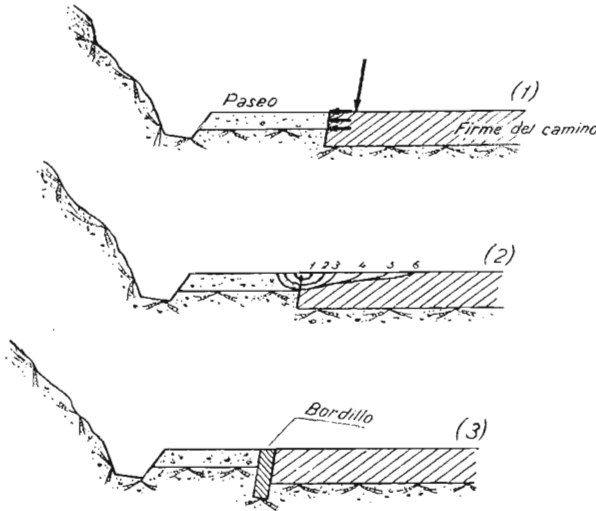


Figura 67.

conservación del pavimento. El bordillo puede ir colocado en la rasante del firme, o elevado; el bordillo con la rasante del firme o enterrado, permite que el tráfico se salga del pavimento del camino en un momento de apuro, utilizando, como zona auxiliar, el paseo. El bordillo elevado tiene la ventaja de una mejor conservación del paseo, pues el tráfico, para entrar en él, ha de montar sobre el bordillo; ventaja que tiene como contrapartida importante una menor seguridad para la circulación, que no puede, en caso de apuro, utilizar la zona del paseo sin saltar el bordillo, lo cual resulta peligroso, caso de una maniobra forzada; tiene también el bordillo elevado el inconveniente de que, con firme no absolutamente impermeable, el drenaje es más imperfecto; el polvo y la porquería del camino ensucian la zona próxima al bordillo y hacen que el agua se estanque, favoreciendo su infiltración en el firme; nuestro criterio es emplear bordillo enterrado en las secciones normales de caminos en pleno campo;

debe proyectarse el bordillo elevado en las zonas urbanas, donde la circulación de peatones es intensa, y, por tanto, imprescindible que el paseo vaya aislado del tráfico automóvil. El bordillo, como veremos al tratar de la parte de construcción, está formado por un material resistente, piedra u hormigón, fuertemente asentado en el terreno, con o sin cimiento de hormigón; su sección, normalmente, es de 0,15/0,20 m. de ancho por 0,30 a 0,40 m. de profundidad; se deben emplear piezas de un largo del orden del metro, siempre que económicamente sea posible. Cuando el bordillo se coloca elevado, va situada su cara superior a unos 0,15/0,20 metros sobre el firme del camino; la superficie del paseo va a nivel con la cara superior del bordillo. En caso de bordillo elevado, su cara descubierta ha de ir finamente terminada; puede ser vertical o con una cierta inclinación.

**79. Paseos.** — A ambos lados de la zona de circulación de vehículos suelen ir otras suplementarias, denominadas paseos; tienen por objeto servir para el tráfico de peatones; necesitan tener una resistencia muy inferior al firme propiamente dicho, pues el paseo no debe estar sujeto al tráfico de vehículos. En algunos casos el paseo puede servir de zona de futura ampliación del firme; y se ahorra, de momento, el gasto excesivo que representa la construcción de éste. En las zonas urbanizadas los paseos son imprescindibles y, entonces, como el tráfico de peatones es muy intenso, en todo o en parte, van dotados de firmes especiales.

El ancho del paseo varía según las zonas en que haya de establecerse; nuestra Instrucción prevé un ancho de paseo de 0,50 m. para caminos en condiciones normales, sean nacionales, comarcales o locales, y un metro en los tramos de caminos nacionales, a distancia de 5 a 10 Km. de las capitales de provincia o asimiladas y zonas urbanizables.

En pleno campo, con bordillo enterrado y por tanto con la superficie del paseo a nivel del firme del camino, forma en que generalmente están construídos en España, el paseo sirve de zona suplementaria del ancho del camino en caso de necesidad grave, cruces imprevistos, etc.; este criterio es el que sirvió de base en la Instrucción española para el cálculo de los anchos (epígrafe 78); si el paseo no está bien construído y conservado, con un firme de menor resistencia pero de características similares al firme del camino, puede ser causa de graves accidentes, pues en un momento de peligro, al salir las ruedas de un lado del vehículo del firme y encontrarse con un paseo de condiciones muy diferentes al firme de la vía, el distinto coeficiente de rozamiento produce una fuerte desviación del coche que puede ser peligrosísima. Cuando el camino es estrecho, parte del tráfico, especialmente de carros, marcha por el paseo, des-

trozándolo, y entonces constituye una zona muy peligrosa, si un vehículo automóvil, a gran velocidad, se ve forzado, en un momento de apuro, a salir del firme central (fig. 68).

Cuando el bordillo está enterrado, el paseo, como continuación del firme, tiene normalmente su misma pendiente transversal. Cuando el paseo está elevado sobre el firme del camino, tiene una pendiente del 1,5 al 3 por 100 hacia el bordillo. En el interior de las poblaciones, los paseos, al pasar a la categoría de aceras, pueden tener dimensiones mucho mayo-

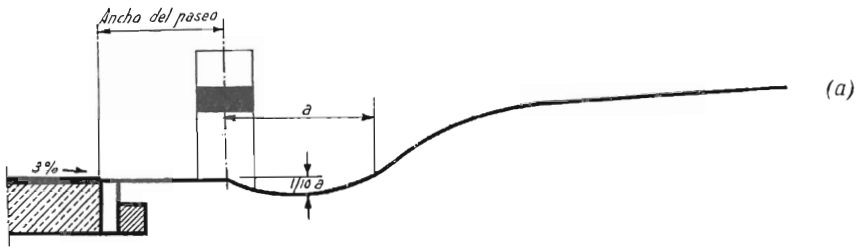


Figura 68.

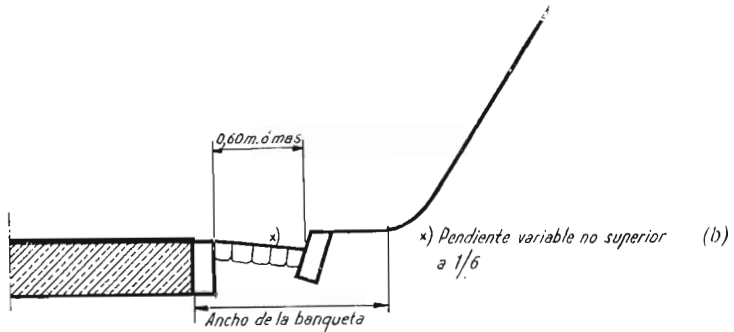
res y estar distribuídas transversalmente, de acuerdo con las necesidades que, por su situación, hayan de cumplir; a veces, cuando su ancho es grande, se utilizan para construir jardines longitudinales.

**80. Cunetas.** — Son canales longitudinales que sirven para recoger y eliminar rápidamente el agua que cae sobre el firme y que va a ellas debido a su pendiente transversal; su función es trascendental para la conservación del pavimento; el enemigo mayor de un firme de cualquier clase, es el agua; al proyectar y construir un camino, hay que cuidar con todo esmero su recogida y eliminación.

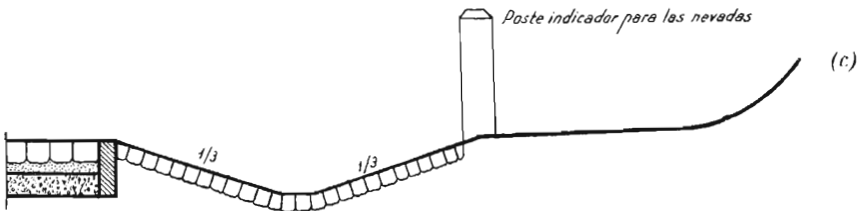
La cuneta debe cumplir su función específica, la recogida y eliminación de las aguas del firme, sin constituir un peligro para la circulación.



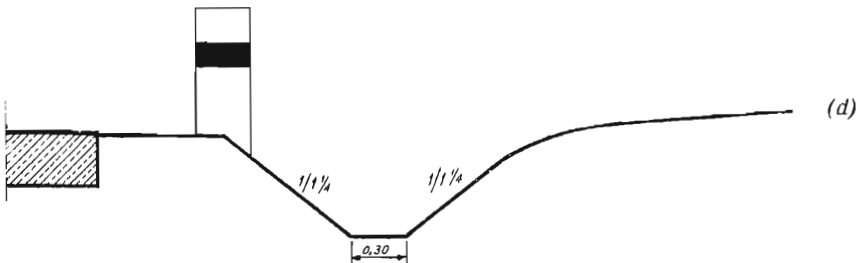
*Perfil en recta o en lado interior en curva*



*En pais montañoso con taludes escarpados*



*En zonas de nieves frecuentes*



*Perfil peligroso que nunca debe adoptarse*

Figura 69.

Tienen formas y dimensiones muy diversas, dependientes de la naturaleza del firme y características del camino; en la figura 69 puede verse el tipo trapecial, antes corrientemente empleado en España; en casos apurados constituye un grave peligro para el tráfico; una rueda cayendo, en un momento en que el conductor está forzado, en una zanja de 30/40 centímetros de profundidad, puede ser causa de un accidente fatal. Son mucho menos peligrosos los otros tipos de cuneta que pueden verse en la figura 69.

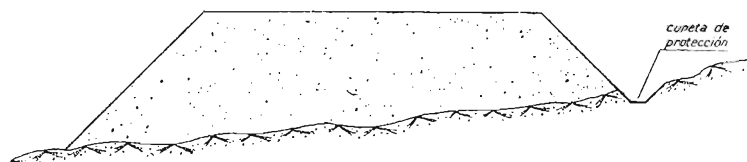


Figura 70.

Al pie de los terraplenes se emplean cunetas de guarda que impiden la degradación de su base (fig. 70); en los puntos altos de los desmontes, cuando el terreno de los mismos es erosionable, se emplean cunetas de guarda (fig. 71).

La cuneta debe tener desagües en puntos adecuados del trazado, utilizando cuantas coyunturas haya para ello, lo más próximos posible unos

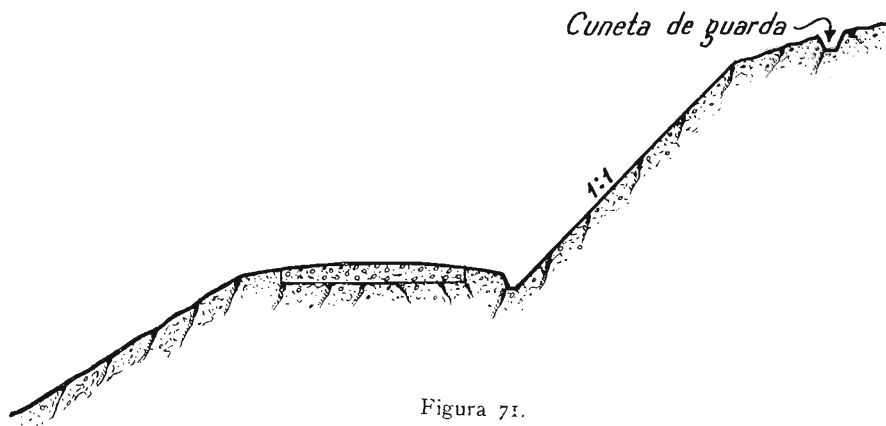


Figura 71.

de otros, para evitar la excesiva acumulación de caudal, que haría precisa una mayor sección y, en definitiva, de no ser cunetas revestidas, podría ser causa de que se transmitiese humedad a la base del firme.

Las cunetas son imprescindibles en todas las secciones en desmonte.

**81. Perfil transversal del terreno. Taludes.** — El perfil longitudinal del camino irá produciendo secciones transversales en desmonte o en terraplén; tanto en un caso como en otro se terminarán con taludes, cuya inclinación depende de que se trate de desmonte o terraplén y de la naturaleza del terreno.

En el caso de secciones en desmonte, el talud que se debe dar al terreno será el necesario para que se sostenga con suficiente estabilidad, sin desprendimientos, que constituyen un grave peligro para el tráfico. Sin perjuicio de que el ingeniero, con un conocimiento exacto de las características de su caso particular, proyecte el talud más adecuado en cada caso, como orientación, se puede considerar que los taludes serán:

- Roca dura, de 0 a 1/5.
- Tierra compacta con revestimiento, 1/2.
- Tierra ordinaria sin revestir, 1/1.
- Tierra poco consistente, 1,25/1 a 1,5/1.

En los terraplén, el talud de las tierras deberá ser el preciso para que se sostengan; dependerá, por tanto, de su naturaleza. Como norma general, puede considerarse:

|  |       |
|--|-------|
| Con tierra compacta (terraplén de pequeña altura). | 1/1   |
| Con tierra ordinaria.....                          | 1,5/1 |
| Con tierra escogida.....                           | 2/1   |

Los taludes con fuerte pendiente favorecen poco la estética del camino; por ello, en las autoestradas alemanas se dan taludes más tendidos que lo necesario, que se unen con el terreno natural y con la explanación

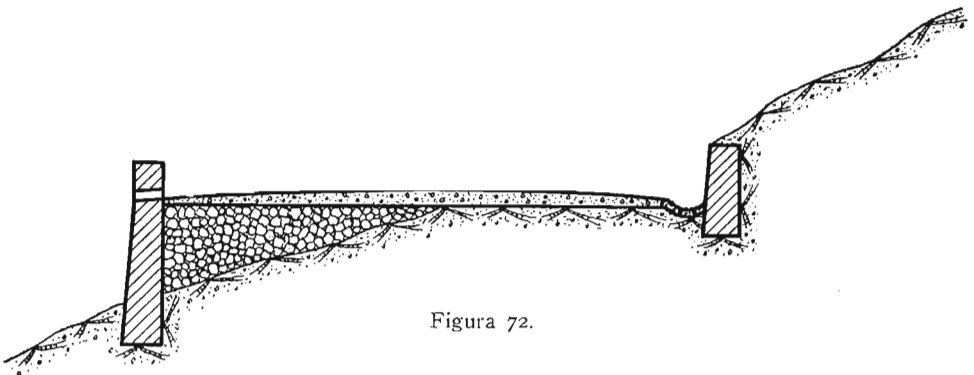


Figura 72.

por curvas de gran radio; se obtiene así una considerable mejora de la belleza del trazado, pero se aumenta, en cifra no despreciable, el importe del movimiento de tierras.



El talud se prolonga, en general, hasta su intersección con el terreno natural; cuando éste tiene una gran pendiente, sería antieconómico hacerlo, ya que el volumen de terraplén alcanzaría valores muy grandes; cuando la pendiente del terreno es superior a la admisible para el terraplén, la línea de éste y el terreno no se encontrarían nunca; tanto en un caso como en otro, se emplean muros de sostenimiento para hacer posible la obra, disminuir el volumen del terraplén, o en el caso de que, económicamente, presente ventaja su utilización, para disminuir el volumen de desmonte preciso para alcanzar el talud necesario, según la naturaleza del

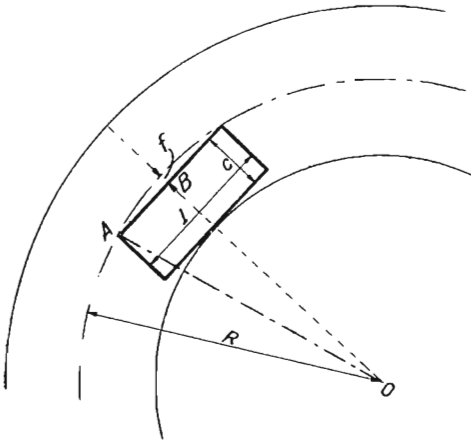


Figura 73.

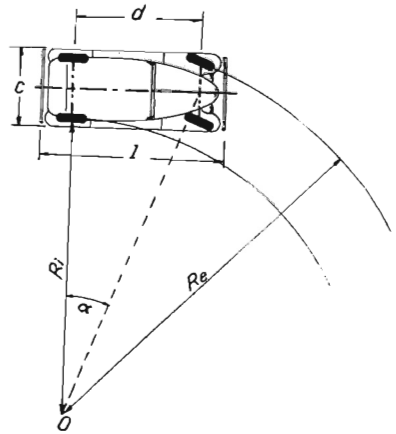


Figura 74.

terreno. La figura 72 es un caso típico de empleo de muros; en definitiva, el problema es un problema económico cuya solución se obtiene estudiando, en cada caso, la disposición, para que resulte mínimo coste del metro lineal de camino, con las rasantes adoptadas.

**82. Aumento de la sección en curva.** — La sección estudiada para una alineación recta es imprescindible aumentarla en curva, exterior o interiormente, si queremos conservar la misma capacidad de circulación; exteriormente, por razón del sobrancho que el tráfico necesita para inscribirse en la curva; interiormente, para respetar la visibilidad establecida para el camino.

Sobrancho exterior preciso para la circulación de los vehículos:

Sea un camino en un trozo en curva de radio medio,  $R$ , y en él un vehículo de tracción animal de dimensiones  $c$  y  $l$  (fig. 73); si el ve-

hículo ocupa en recta el ancho  $c$ , evidentemente ocupará en curva en ancho  $c + f$ ; en el triángulo  $OAB$ :

$$\frac{l^2}{4} = 2 R f - f^2;$$

$f^2$  es muy pequeño en relación a  $2 R f$ , y tendremos, por tanto:

$$l^2 = 8 R f;$$

de donde:

$$f = \frac{l^2}{8 R}.$$

Sea un vehículo de tracción mecánica que marcha en una curva; con la notación de la figura 74, y llamando  $R_i$  y  $R_c$  a los radios interno y externo de la curva, tendremos:

$$R_i = d \cotg \alpha - \frac{c}{2}$$

$$R_c = \frac{d}{\text{sen } \alpha} + \frac{c}{2},$$

el ancho preciso de la curva es:

$$R_c - R_i = d \left( \frac{1}{\text{sen } \alpha} - \cotg \alpha \right) + c.$$

Como el ancho preciso en recta es  $c$ , el sobrancho exterior que la curva exige es:

$$d \left( \frac{1}{\text{sen } \alpha} - \cotg \alpha \right). \quad [1]$$

Si  $R$  es el radio medio de la curva,  $\text{sen } \alpha = \frac{d}{R}$ , y podemos determinar por [1] el sobrancho necesario.

En la parte derecha del gráfico de la figura 62, utilizado en las autoestradas alemanas, puede determinarse el sobrancho preciso en curva, según la clase de vehículos y el radio de la curva.

El sobrancho interior preciso por razón de visibilidad y la forma de determinarlo se estudió ya anteriormente.

**83. Zonas de estacionamiento y parada.** — El estacionamiento de los vehículos en los caminos, no solamente produce una disminución de la capacidad de la vía, sino que es causa de gran número de accidentes de circulación. Por observaciones hechas en las carreteras alemanas, se ha podido comprobar que un tanto por ciento elevado de los accidentes, especialmente durante la noche y en días de niebla, es debido, no a los

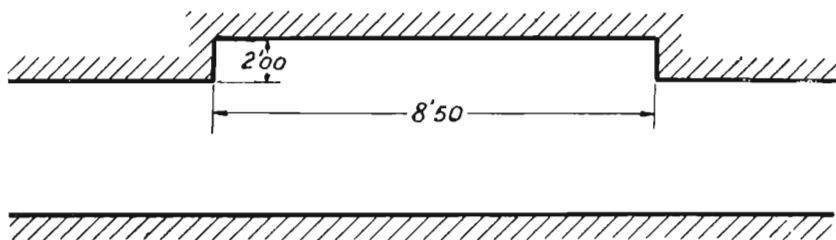


Figura 75.

vehículos en marcha, sino a los parados. No es posible, económicamente, dar a la explanación del camino el sobreecho preciso para que los vehículos puedan detenerse fuera de la calzada, en cualquier punto; representaría un aumento de 1,5 a 2 m. de anchura; aunque solamente se estableciese en un solo lado, sería un gasto excesivamente elevado. En vez de hacerlo así, se recurre, en los caminos modernos, a proyectar zonas de parada cada dos o tres kilómetros, o menos, en puntos donde

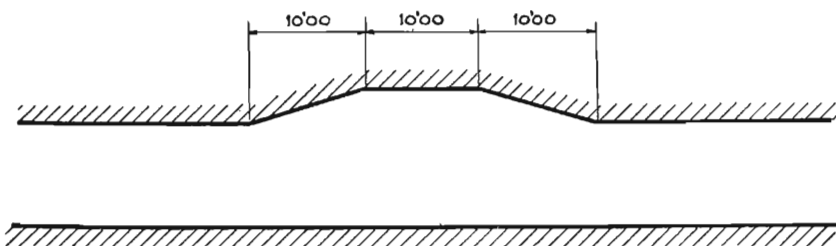


Figura 76.

no sea costosa la explanación. Su longitud debe ser, como mínimo, de 7,50, y su ancho, de dos a tres metros, como mínimo también; su pavimentación puede ser de calidad inferior a la del camino (figs. 75 y 76).

Además de las zonas de parada deben proyectarse, en un camino moderno, zonas de estacionamiento, cuyos fines pueden ser:

1.º Estacionamiento de un número de vehículos relativamente elevado en las proximidades de servicios importantes; por ejemplo: estaciones de ferrocarril, aeropuertos, campos de deporte, etc.

2.º Zonas de estacionamiento de vehículos en sitios de belleza natural, monumentos, etc.

Aparte de estas zonas de estacionamiento o parada, puede decirse en la carretera misma, existen las zonas de descanso, situadas la mayoría de las veces a una cierta distancia, de las cuales nos ocuparemos al tratar de los servicios de explotación del camino.

Las dimensiones precisas de las zonas de estacionamiento dependen del caso particular de que se trate. En vías urbanas el problema adquiere especial importancia; las características del tráfico moderno, en el cual el automóvil se ha convertido en un medio de trabajo, hace que exista un gran número de vehículos sin chófer, que forzosamente han de pasar largo tiempo estacionados en zonas determinadas, especialmente en calles comerciales, donde precisamente la congestión de circulación es mayor. El doble estacionamiento de vehículos representa una pérdida muy elevada de capacidad de vía. Por ejemplo: en una calle de calzada normal de 18 m.—tres vías en circulación en cada sentido—, una línea de estacionamiento en cada acera, representa una pérdida de capacidad del 33 por 100. Es preciso buscar en la proximidad de grandes vías, zonas de estacionamiento de vehículos suficientemente próximas a ellas, para que sea posible prohibirlo en la vía principal; siempre resulta más económico hacerlo así, que ensanchar la vía principal; en estos puntos de estacionamiento se ordena cuidadosamente la colocación de los vehículos, para lograr el máximo aprovechamiento, y se cobra, en algunas capitales, una cantidad fija por el derecho de parada.

**84. Estaciones de aprovisionamiento de gasolina.** — Deben colocarse fuera del camino principal, estudiando cuidadosamente sus entradas y salidas para evitar puntos de posibles accidentes; conviene anunciar a bastante distancia su existencia, para que el conductor llegue a ellas con la debida precaución, ya sea para servirse de las mismas o bien para evitar accidentes con los vehículos que entren o salgan de ellas. En las poblaciones, deben colocarse en vías secundarias, suficientemente próximas a la calle principal, anunciando en ésta su existencia y situación.

**85. Escuelas.** — No se establecerán en vías principales; tienen que estar colocadas en vías secundarias, lo suficientemente apartadas y anunciar su situación, para que los conductores marchen con la precaución debida.

86. **Cruce de caminos.** — El cruce de las corrientes de circulación de dos caminos es un punto peligroso que es preciso estudiar con todo cuidado, para disminuir el riesgo y conservar la capacidad de tráfico de las vías. El problema se plantea en estos términos: el cruce de dos circulaciones obliga a que exista la visibilidad precisa, para que una de ellas pueda detenerse a tiempo para dejar paso a la otra. La visibilidad, normalmente, no puede alcanzarse para la velocidad específica del camino; los 130 a 140 metros de distancia de visibilidad necesaria para un camino moderno exige, para cruces que no sean importantes — en los cuales se adoptan disposiciones especiales que luego estudiaremos — obras

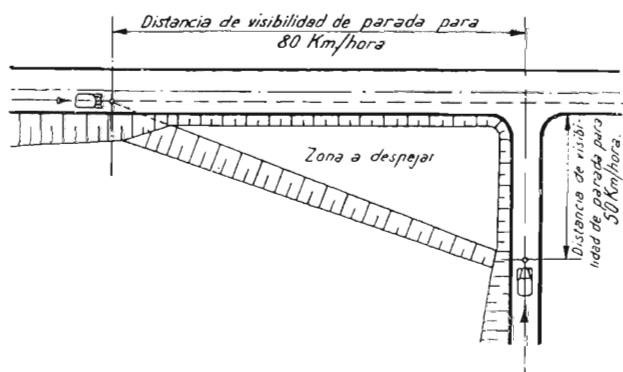


Figura 77.

que es antieconómico realizar. Generalmente, la visibilidad se obtiene en parte por obras de acondicionamiento y, en parte, por disminución de la velocidad del vehículo.

La necesidad de que una de las circulaciones ceda el paso a la otra, tiene como consecuencia la disminución de la velocidad comercial en uno de los caminos; y toda disminución de velocidad representa una aglomeración de vehículos, que lleva como contrapartida la necesidad de un acondicionamiento de la zona de cruce, y en muchos casos de una mayor amplitud de la vía. La obtención de la visibilidad, exige la eliminación de los obstáculos que a ella se opongan, en la zona precisa. No es posible dar reglas concretas; el criterio del ingeniero, teniendo muy en cuenta las condiciones locales, verá en cada caso cuál es la solución más económica (figs. 77, 78 y 79).

Siempre, el conductor debe poder darse cuenta a tiempo de las condiciones del cruce, para tomar sus precauciones y, en caso preciso, parar su vehículo antes de llegar al "punto de conflicto".

El cruce de dos caminos puede ser de vías de igual categoría o de categoría diferente. En todo caso, una de las circulaciones, debe ceder el paso a la otra; en el Reglamento español de circulación “los conduc-

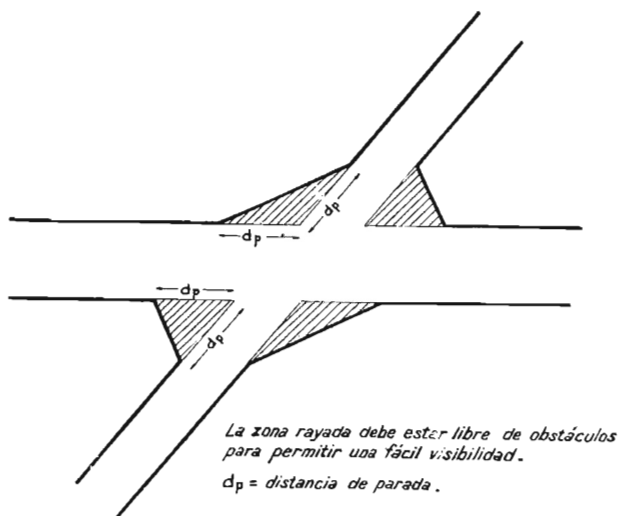


Figura 78.

tores tienen obligación de ceder el paso a los vehículos o animales que vean aproximarse por su lado derecho” (art. 25, *d*)); en otros regla-

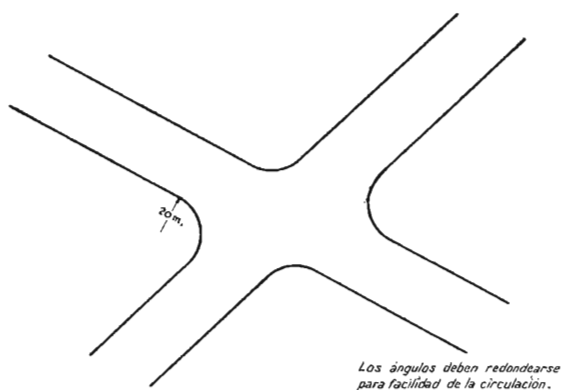


Figura 79.

mentos extranjeros, la preferencia de paso la tiene la circulación de la vía principal, a cuyo objeto, con tiempo preciso, el camino secundario,

o el que como tal se considere, tiene una señal que indica a su tráfico, debe ceder paso al que circula por el camino que va a cruzar. Esta segunda solución es más lógica, a nuestro juicio, que la del Reglamento español.

En el acondicionamiento de una intersección deben observarse las siguientes reglas: 1.º, todo elemento de incertidumbre o sorpresa ha de ser suprimido; las señales deben disponerse en forma tal, que el conductor de un vehículo no pueda tener la menor duda en relación con lo que

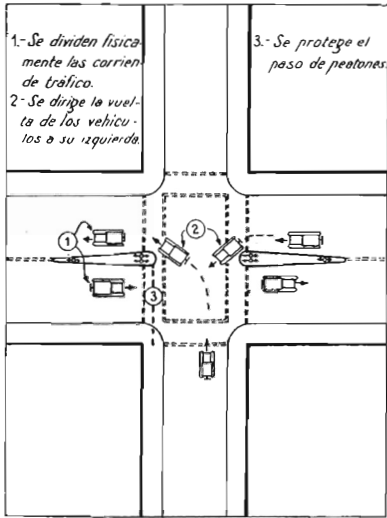


Figura 80.

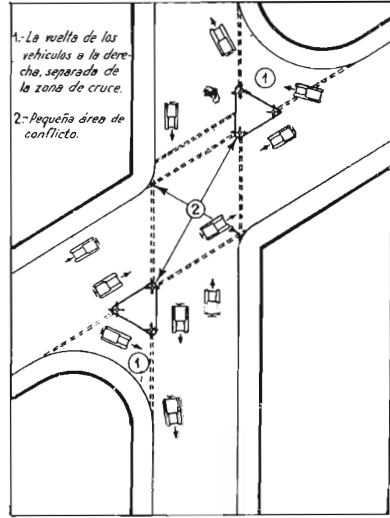


Figura 81.

debe hacer. Las intersecciones que el conductor conoce a tiempo, aunque sean peligrosas, si están bien señaladas, producen menos accidentes que las sencillas sin precaución alguna; 2.º, la entrada en las intersecciones debe ser lenta, y la salida de ellas lo más rápida posible.

Cuando la intensidad de circulación es grande en las vías urbanas y, en muchos casos, en los caminos suburbanos, en la proximidad de los grandes centros, se recurre a las señales luminosas para cortar el tráfico de una de las vías. Las señales luminosas pueden ser de diversos tipos: que funcionen automáticamente, con intervalos fijos, señales de tipo síncrono progresivo, y, excepcionalmente, señales que funcionen por la acción de los vehículos o peatones. La elección de uno u otro tipo de señal depende de las condiciones locales.

Cuando la circulación tiene gran intensidad, y siempre que en un

mismo punto converjan más de dos caminos, es solución práctica establecer la circulación giratoria, movimiento de los vehículos en una sola dirección alrededor de una zona central. La circulación giratoria forma una vía de circulación en sentido único, que une las entradas y salidas de las diferentes vías que se cruzan; para que la circulación giratoria sea eficaz, es preciso que la distancia entre intersecciones de vías con el círculo de sentido único, sea, como mínimo, de 40 metros, para que el tráfico que llegue de una vía tenga tiempo de canalizarse antes de encontrar la nueva corriente de circulación. La circulación giratoria se puede establecer en uniones de forma diferente de la estrictamente circu-

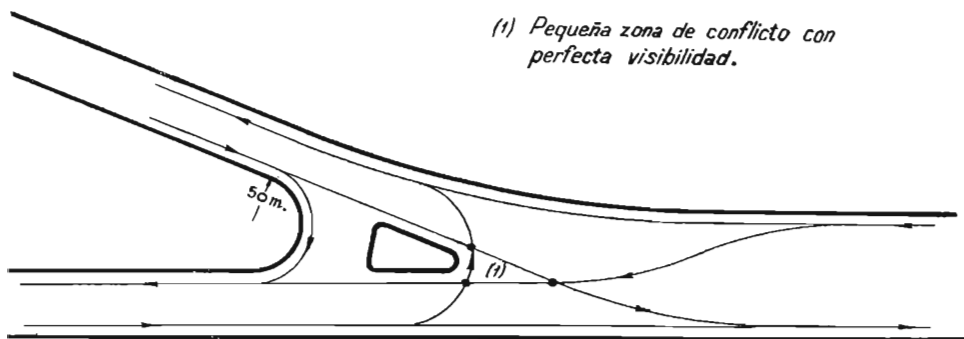


Figura 82.

lar, para adaptarse a las condiciones del terreno. La circulación giratoria, cuando es económicamente posible, constituye una solución muy satisfactoria y segura; las estadísticas americanas demuestran que el número de accidentes, con esta disposición, es menor que en los cruces a nivel con señales luminosas, y, además, la capacidad de tráfico de las vías que se cruzan prácticamente no se altera.

En el cruce de caminos que se unen en un punto formando ángulo agudo, debe disponerse un refugio triangular, destinado a guiar la circulación, encauzándola hacia la derecha; se emplean estos refugios para el paso de peatones y el establecimiento de señales (fig. 82).

Los cruces a nivel con caminos importantes deben limitarse, imponiendo una distancia mínima entre ellos, que no debe ser inferior a cinco kilómetros; multiplicar el número de accesos a nivel a un camino principal, entorpece enormemente su tráfico. En las vías urbanas principales, debe seguirse análogo criterio, canalizando el tráfico de acceso en calles laterales y limitando cuidadosamente los puntos de cruce. Es fundamen-



tal concentrar, especialmente en poblaciones, el paso de peatones en puntos determinados, procurando que éstos sean el menor número posible; en sitios de gran congestión, se recurre a efectuar los cruces de peatones a distinto nivel. Para evitar el cruce en sitios indebidos, en algunas ca-

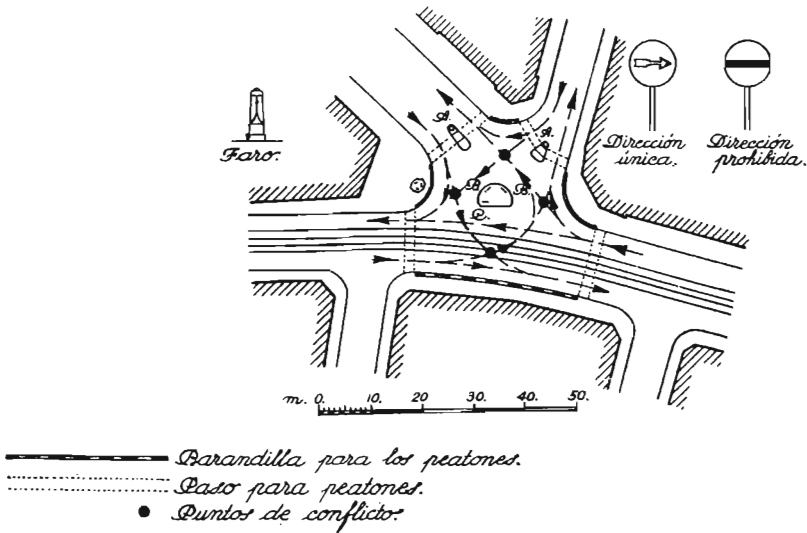


Figura 83.

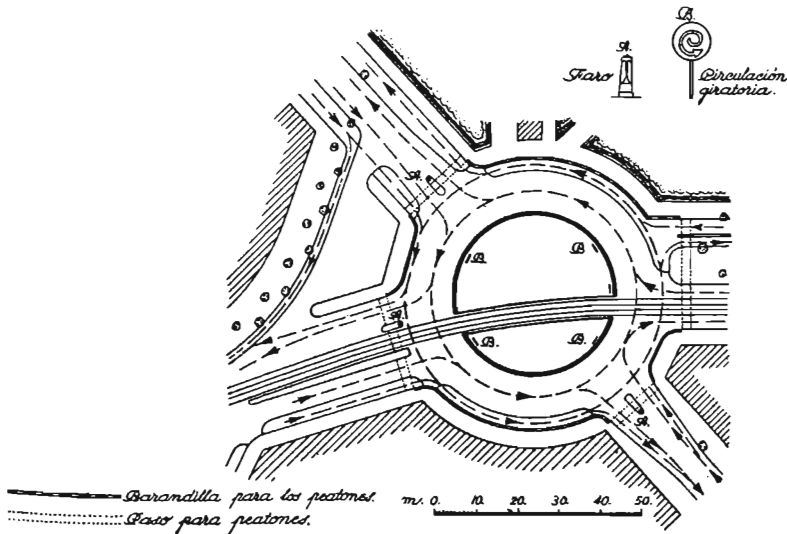


Figura 84.

pitales se establecen barandillas, que físicamente lo impiden, excepto en los puntos de cruce. Las figuras 80 a 86 dan idea de diversas disposiciones.

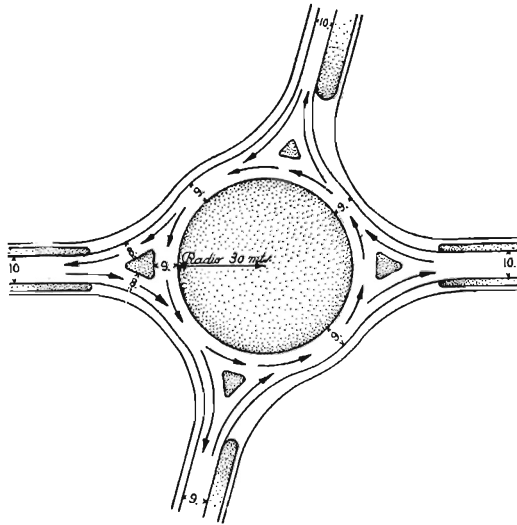


Figura 85.

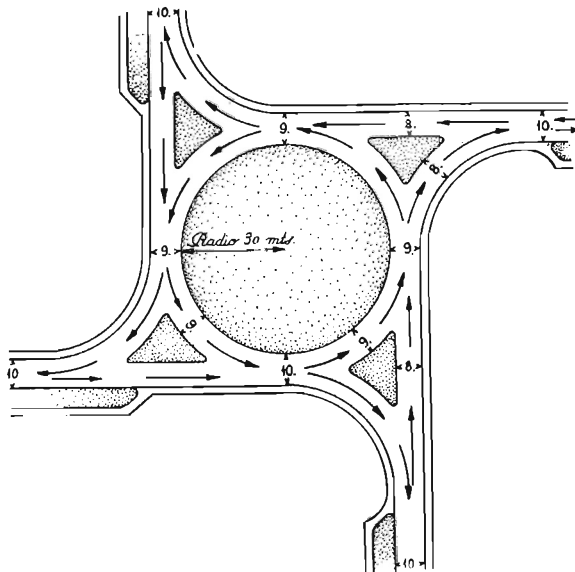


Figura 86.

87. **Cruces a distinto nivel.** — La solución de cruces a distinto nivel de dos caminos es, sin duda, la más perfecta y segura; generalmente cuesta cara y, por ello, no debe adoptarse más que cuando la importancia de las vías y su tráfico lo justifiquen. Condición fundamental del cruce a distinto nivel, es la no existencia de punto de conflicto o cruces de tráfico, en la vía o vías consideradas como principales; ello obliga a que nunca, en la vía principal, puedan girar los coches más que a su derecha. Las rampas de acceso a la vía principal, deben proyectarse para dos vehículos, y se encontrarán con el camino principal en ángulo muy agudo, que permita incorporar al mismo el tráfico, con absoluta seguridad y sin el menor trastorno en la circulación principal.

Cuando se trata del cruce de un camino principal con uno secundario, en éste se puede permitir el cruce de circulaciones (figs. 87 y 88). Cuando, en cambio, se trata de dos vías principales, es necesario estudiar un sistema de accesos que evite todo punto de cruce de tráfico (figura 89).

Las condiciones del terreno, ángulo de cruce de los caminos y características locales, nos marcarán la solución a elegir, después de un estudio detallado de las distintas combinaciones posibles de dirección de líneas de tráfico.

Estudiada lógicamente una solución de este tipo, y en condiciones locales normales, su coste, aunque siempre de relativa importancia, no pesa en el presupuesto de la vía, en forma que no compense, cuando el tráfico es intenso, las grandes ventajas que produce.

En resumen: *a)* El cruce de dos caminos precisa siempre dotar a ambos de la adecuada visibilidad.

*b)* Cuando no sea económicamente posible otra solución y el tráfico sea de cierta importancia, se establecerán señales luminosas que aseguren el libre paso del tráfico en ambas vías, alternativamente.

*c)* La solución de circulación giratoria es, la mayoría de las veces, suficiente.

*d)* Cuando la importancia de las vías lo justifique, el cruce a diferente nivel es la solución perfecta.

88. **Cruce de carreteras y ferrocarriles.** — El cruce de carreteras y ferrocarriles debe hacerse siempre a distinto nivel; en proyectos de nuevas vías no está justificada otra solución.

Cuando se trata de vías existentes, en las cuales las condiciones locales constituyen un obstáculo de orden económico, que no permita la solución de paso a distinto nivel, se recurre a cerrar la carretera con una barrera, para dejar paso libre a los trenes. La existencia de las

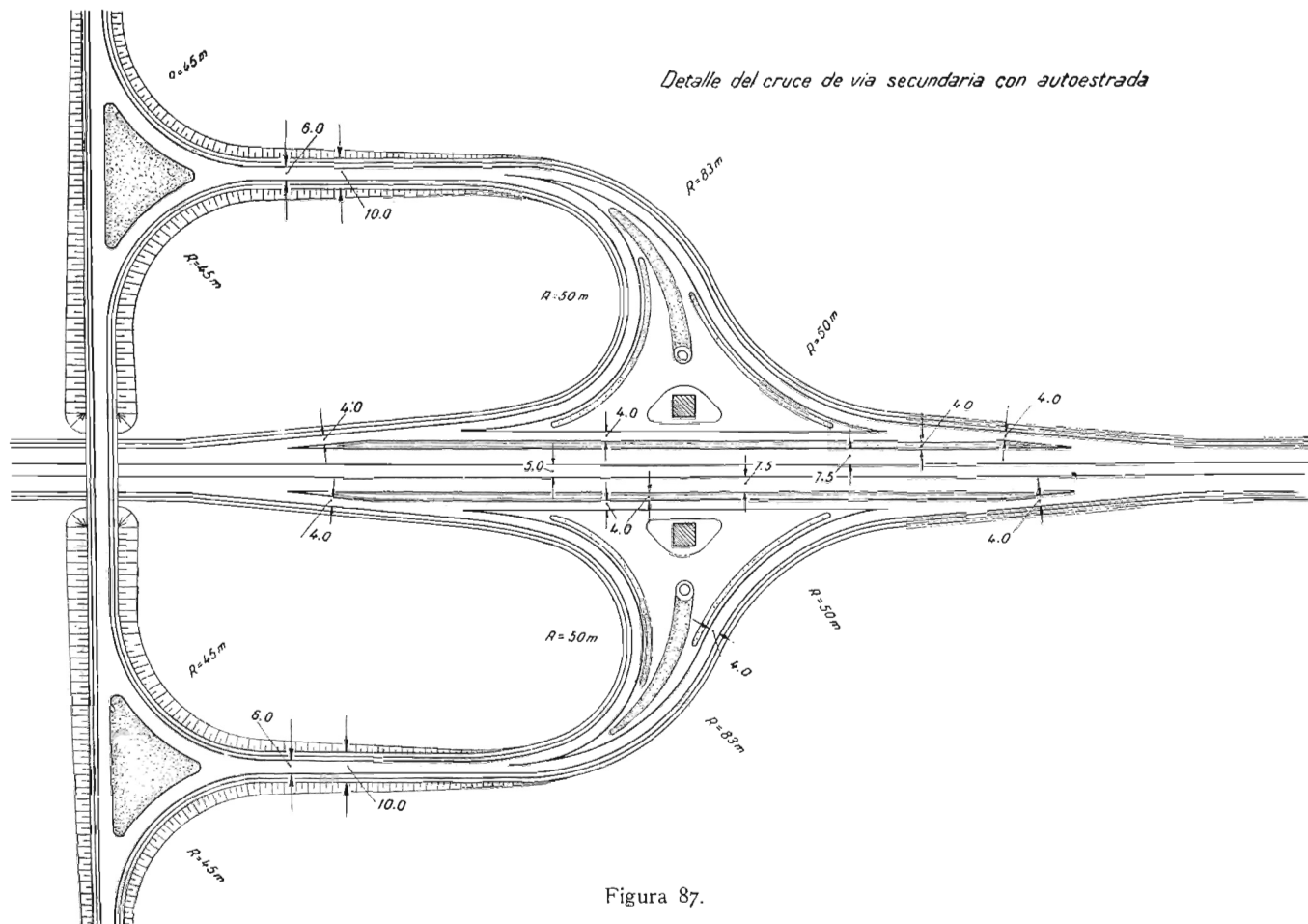


Figura 87.

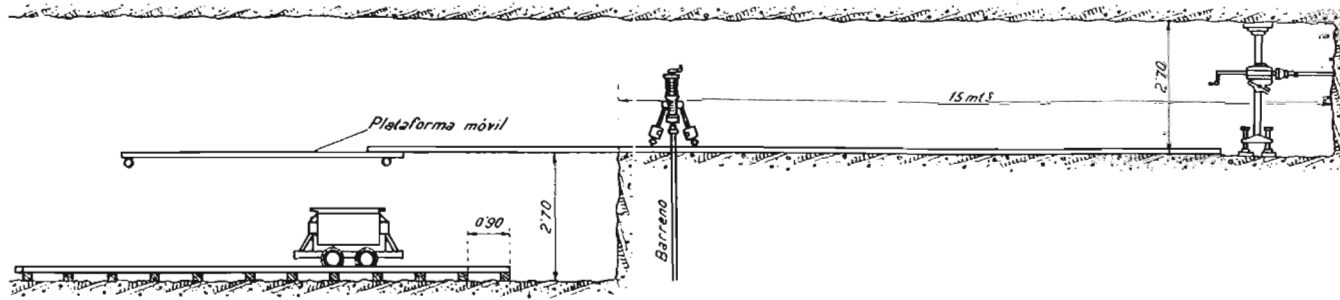


Figura 222.

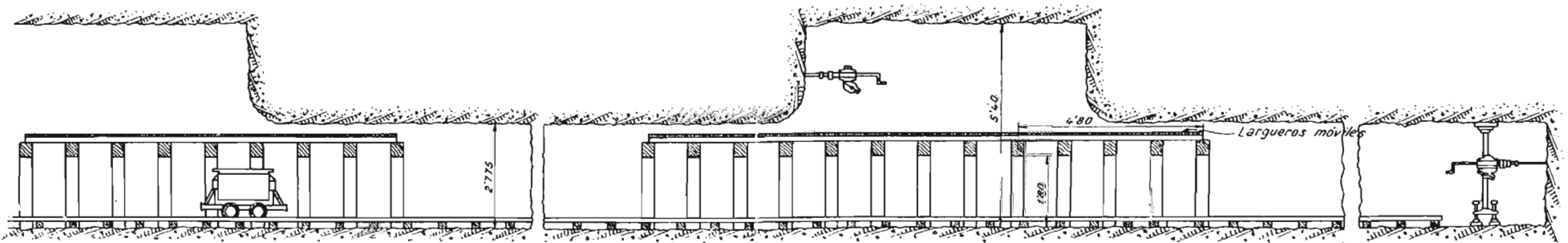


Figura 223.

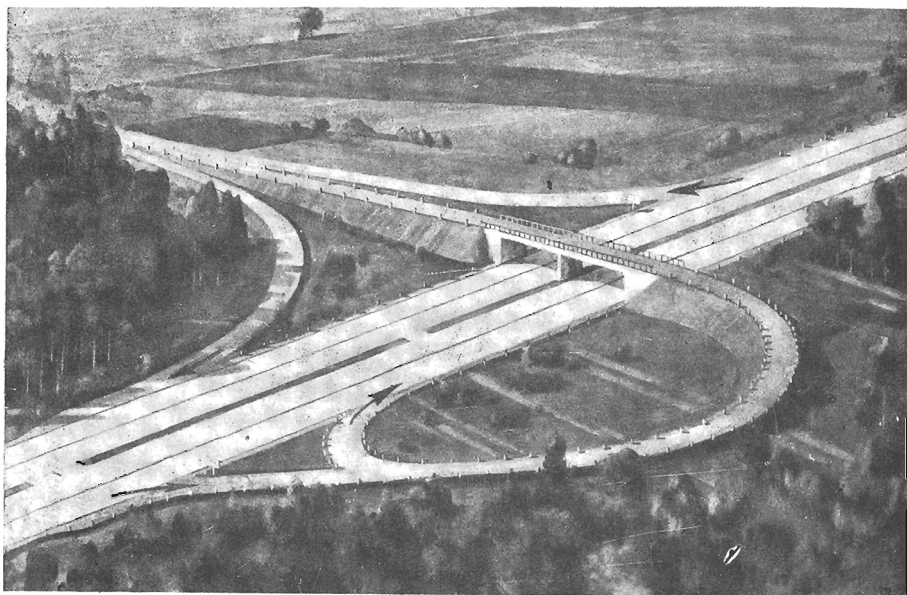


Figura 88, *a*.

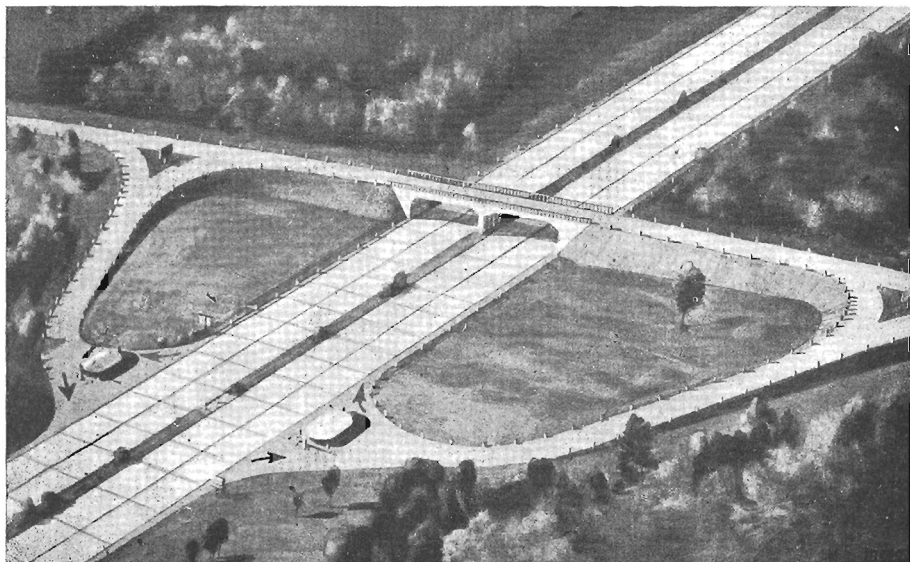
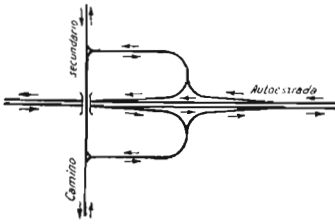
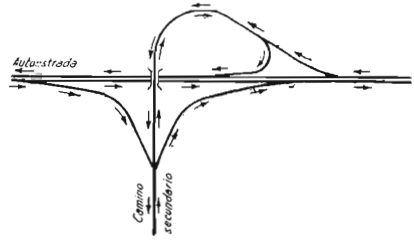


Figura 88, *b*.

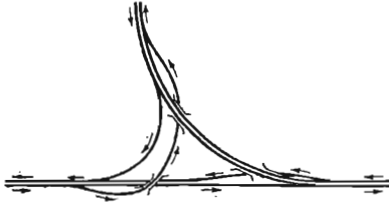
*Cruce de via secundaria con autoestrada*



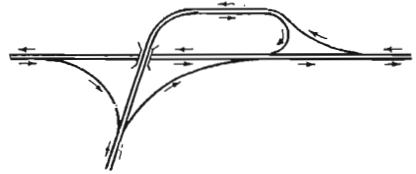
*Unión de via secundaria con autoestrada*



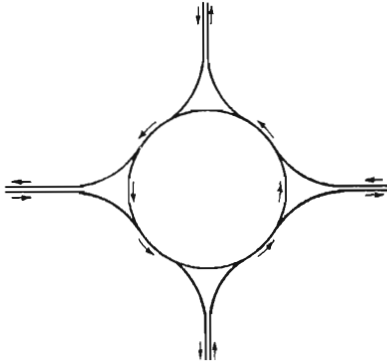
*Desviación de autoestradas*



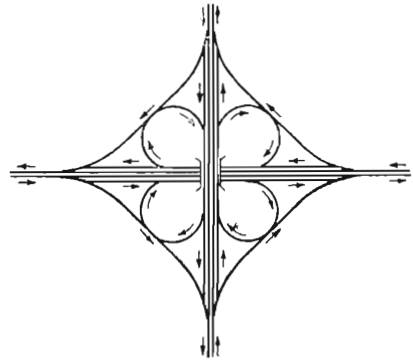
*Desviación de autoestrada en trompeta*



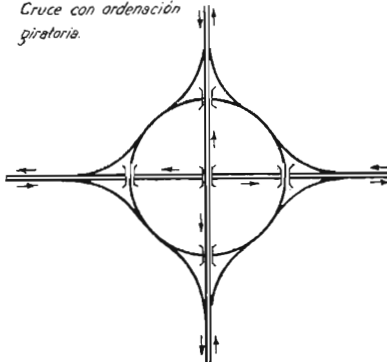
*Cruce con ordenación giratoria*



*Cruce de autoestradas en trébol*



*Cruce con ordenación giratoria*



*Cruce oblicuo de autoestradas*







o no pasar ; el conductor debe tener, desde la carretera, la necesaria visibilidad de la vía. Ello obliga, en muchos casos, a obras más costosas que las de supresión del paso a nivel, especialmente si el terreno es bastante accidentado. Las estadísticas americanas, en exposición permanente de la Central Station, en Nueva York, demuestran la disminución de los acci-

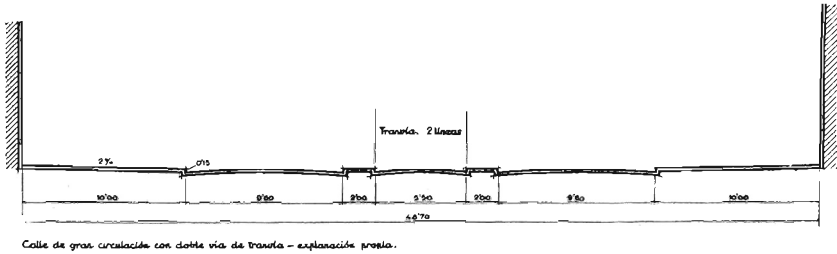


Figura 92.

dentes por la supresión de las barreras, si los pasos a nivel están bien proyectados.

**89. Tranvías.** — El tráfico de tranvías, en el estudio de las vías urbanas, merece especial atención: es causa, por la rigidez de sus movimientos, de un gran entorpecimiento en la circulación; por otra parte, la velocidad comercial de un tranvía, en la zona general de circulación,

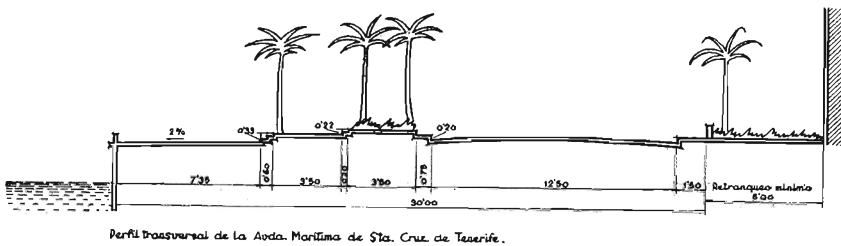
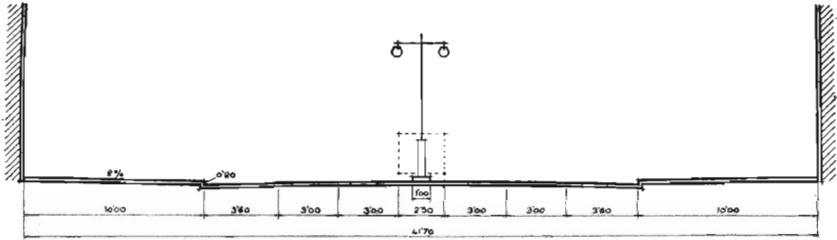


Figura 93.

es muy lenta. En los caminos en general, el entorpecimiento y peligro que origina la circulación del tranvía, mezclada con el tráfico general, es enorme, máxime si se tiene en cuenta que, en las zonas fuera del casco mismo de la población, el tranvía tiene una sola vía y, por tanto, hay una dirección que va en sentido contrario del tráfico, constituyendo un gran peligro y no menor entorpecimiento para la circulación general.

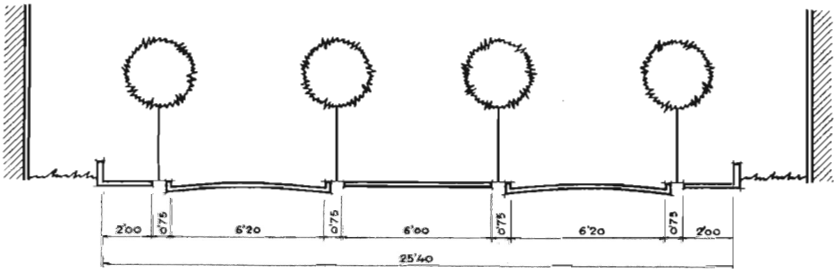
Por otra parte, y especialmente si no se trata de pavimento de alta resistencia, y, por tanto, elevado coste, la vía del tranvía es enemigo grande de la conservación del firme. Todo ello induce a recomendar, siempre que económicamente sea posible, que se separe el tráfico del tranvía, en general, de la vía. Esta solución tiene indudables ventajas, lo mismo



Vía comercial de gran circulación.  
Aceras 10 mts. 20 circulaciones.  
Calzada 6 circulaciones rápidas y línea central de estacionamiento.

Figura 94.

para el tráfico general que para el tranvía, que puede alcanzar velocidades comerciales mucho más elevadas. Desde luego, en caminos importantes no se debe, de ninguna manera, permitir el establecimiento del tranvía dentro de la zona de circulación general. Hoy empiezan a sustituirse los tranvías por trolebuses, vehículos eléctricos que ruedan sobre neumá-

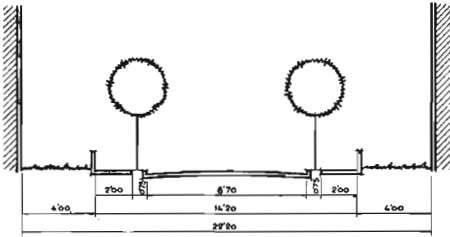


Calle con andén central en zona residencial de casas individuales.

Figura 95.

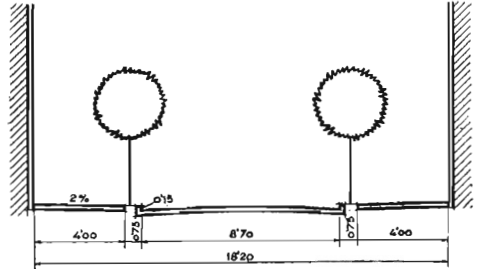
ticos de aire. tomando la corriente de línea aérea, por medio de un trolley especial; éste permite al vehículo un juego bastante amplio, de cuatro metros, como media, a ambos lados de la línea aérea; tienen, si no la independencia de un vehículo corriente, sí la suficiente elasticidad para adaptarse a las necesidades del tráfico; pueden, por ejemplo, marchar por

el centro de su vía de circulación y arrimarse a la acera para tomar y dejar a los viajeros; salvar fácilmente, desviándose, los obstáculos que existan en la vía; ventajas todas de importancia grande desde el punto de vista de la circulación, en relación con el tranvía.



Calle secundaria residencial de viviendas individuales.  
Calzada de 3 circulaciones. Tráfico lento.

Figura 96.



Calle secundaria residencial de vecindad.  
Calzada de 3 circulaciones (2 x 3'10 + 2'50). Tráfico lento.

Figura 97.

En cuanto a la conservación del firme del camino, la no existencia de vías representa una ventaja: el trolebús no produce en el pavimento efecto mayor que un camión del mismo peso.

En las figuras 90 a 97 pueden verse diferentes tipos de secciones transversales, que servirán al lector de orientación para resolver los problemas que corrientemente suelen presentarse.