

CAPÍTULO VI

ELECCION DE LUCES Y TIPOS

Es el problema primordial. — Evoluciones constructivas de los puentes. — Elección del material. — Influencia de las luces en los puentes. — Influencia de los cimientos. — Influencia de los apoyos. — Modelos oficiales de puentes. — ¿Tramos o arcos? — Elección de viaductos. — Abuso de los viaductos. — Supresión de los viaductos. — Cuándo convienen los viaductos. — Elección de tipos de acueductos o sifones.

Es el problema primordial. — Supongamos fijados: el emplazamiento y el desagüe, la rasante y la plataforma, preferibles para el puente.

Debemos ahora proceder a la elección de tipos y luces más convenientes en cada una de las soluciones posibles para los factores antes determinados, y redactar los anteproyectos que han de permitir su comparación económica.

Aquí está el magno *problema* en que el Arte y la Ciencia deben nuevamente simultanear, aún con mayor compenetración que en los anteriores estudios.

Se trata de perseguir la *solución óptima*: aquella que, a igualdad de resistencia y de duración, exija menor gasto.

Para su acierto, debe aguzar el ingenio todo Ingeniero consciente de su primordial obligación: la de ser un buen gerente de los intereses que, por su título, le han sido encomendados.

Bueno que sea *creador de estructuras*, pero mejor aún que sea *ahorrador de pesetas*.

No debe creer que, merced al estudio minucioso de cuantos

puentes se han construído hasta la fecha, le surja espontáneamente la solución óptima, la más económica.

Por lo mismo que dispone hoy de multitud de ejemplos en tipos y luces, con variados materiales, es más laboriosa la selección. La duda aumenta a medida que los conocimientos se amplifican, sobre todo cuando la inexperiencia impide eliminar desde el primer momento muchas de las soluciones *posibles*, pero no aplicables económicamente, al caso especial que se proyecta.

Evoluciones constructivas de los puentes. — Recordemos las evoluciones constructivas que han sufrido los puentes.

Hace cien años, los Ingenieros sólo disponían de la *pedra*, y tenían que limitarse a perfeccionar los puentes de Perronnet, reduciendo espesores y aumentando las luces merced a los aligeramientos de tímpanos.

Vino el *hierro*, y luego el *acero*, a facilitar la construcción de muchos puentes que de sillería hubiesen sido prácticamente irrealizables, y ya parecía haberse llegado al límite de la perfección, cuando se realizaron aquellos colosales puentes de Broocklin, del Garabit y del Forth, salvando vanos enormes, con alturas casi fantásticas.

Pero surgieron entonces los progresos en la fabricación de *cementos* y, a su vez, la sustitución de la piedra labrada por el *hormigón moldeado*, suprimiendo los inconvenientes de las juntas y labra de aquélla, y los peligros de los roblones y de la oxidación del acero, iniciándose nuevos tipos de puentes que se consideraron nuevamente como el *summum* de la Ingeniería.

Observóse, sin embargo, una deficiencia del hormigón con relación al hierro: la de que faltándole fibras, no resistía a los esfuerzos de tensión.

La aceleración progresiva del Arte de la Construcción solventó muy pronto aquel defecto, dando fibras al hormigón por medio de barras de acero aprisionadas en su masa, con lo que no sólo se *aligeraron al extremo las bóvedas, sino que pudieron construirse tramos rectos* con el nuevo material: el *hormigón armado*, que vino a revolucionar más intensamente aún la ejecución de los puentes.

Elección del material. — A pesar de lo que acabamos de resumir, no deben desecharse *a priori* los antiguos materiales.

Desde luego, y según veremos más adelante, son cada día más contados los casos en que convenga emplear sillerías, y hasta el empleo del sillarejo, que antes de la guerra tuvo en Francia tan notables aplicaciones, va sustituyéndose por el hormigón en masa.

Asimismo va reduciéndose el número de los puentes metálicos, a pesar de los indudables progresos de su cálculo y fabricación, y aun en los ferrocarriles, en que se sostuvo largo tiempo la hegemonía del hierro, desaparece poco a poco su empleo, por las ventajas de economía y duración que ofrece hoy día el hormigón, en masa o armado, en la mayor parte de los casos.

Pero aunque eliminadas muchas de las disposiciones empleadas en el siglo pasado, sigue la variedad de las soluciones que en cada obra pueden racionalmente aplicarse.

Aparte de las metálicas, que son objeto de un curso especial, deberemos tantear los tipos de puentes de fábrica y hormigón armado que mejor se acomoden a la clase de piedra de que dispongamos.

Si hubiese canteras en bancadas que facilitaran la labra del sillarejo, y maderas baratas que permitieran cimbras económicas, podrá aún convenir el empleo de aquella fábrica.

Si los aluviones de los ríos fueran gruesos y la longitud y altura del puente no resultaran excesivas, quizá el hormigón en masa pudiera ofrecer la solución más económica.

En los demás casos se va imponiendo, cada vez más, el empleo del hormigón armado, tanto en carreteras como en ferrocarriles y canales.

Pero no debe olvidarse que en una misma vía los precios de estos materiales pueden variar sensiblemente de uno a otro trozo, lo que a veces modifica el problema de su elección.

Así, por ejemplo, en el proyecto del canal de Taivilla, que por sus 200 kilómetros de longitud y caudal de 4 m.³ por segundo requiere un gran número de acueductos y sifones, observamos la evidente influencia, en la elección de sus materiales, por los precios relativos de cada uno de los trozos, influidos sensiblemente por sus variables distancias de transporte.

En algunos de ellos convenían pilas y acueductos de fábrica, porque sobraba piedra de los desmontes y túneles, y las gravillas resultaban caras. En otros ocurría lo contrario, y se inclinaba la

balanza a favor del hormigón armado, no sólo en los cajeros, sino hasta en las pilas.

Así es que aun disponiendo de todos los materiales, es preciso comparar los presupuestos, pues claro está que si las diferencias no fueran sensibles, habría de inclinarse la elección hacia el puente de fábrica, que, a su evidente mejor aspecto, une la condición de no ser tan susceptible de imperfecciones de mano de obra, ni tan sometido a la buena calidad del cemento.

Influencia de las luces en los puentes. — Cualquiera que sea el material elegido, el primer problema que se presenta es de la distribución de luces para el desagüe lineal fijado.

En primer lugar, no hay el menor inconveniente en que el número de tramos sea par o impar.

Algunos autores aconsejan una distribución de luces simétrica, con un número *impar* de tramos; nos parece una preocupación algún tanto pueril; iguales condiciones de desagüe y aspecto ofrece un número par de luces.

Tampoco es absolutamente fija la longitud del desagüe lineal; si el terreno o los modelos de puentes fácilmente aplicables pidieran un aumento o disminución pequeña de este desagüe, calculado siempre con alguna arbitrariedad, no influye sensiblemente, ni en el desagüe ni en el coste, que el puente tenga unos metros más o menos: *los desagües no se miden por centímetros.*

Recordemos, además, que el precio por metro lineal de los tramos rectos o bóvedas en los puentes *aumenta* en progresión geométrica de las luces, *casi en la proporción de sus momentos flectores, es decir, en la de los cuadrados de las luces* (1).

Pongamos un ejemplo:

Un puente de 80 metros de desagüe lineal podrá realizarse con:

2	arcos o tramos	de 40 m.	de luz	y 3	apoyos.
4	» o »	de 20 »	»	y 5	»
8	» o »	de 10 »	»	y 9	»

Los costes de los arcos o tramos estarán casi en proporción de los cuadrados en 40 — 20 y 10; es decir, de 1600 — 400 y 100.

(1) Es algo menor la proporción por el factor común tablero, pero la admitimos para simplificar la comparación.

Pero, en cambio, el número de cimientos y de los estribos y pilas correspondientes aumenta de 3 a 9.

Veamos la influencia de estos factores.

Influencia de los cimientos. — Aunque ya detallamos en el tomo II cuanto se refiere a los cimientos, no está demás resumirlo.

Cuando pueda cimentarse directamente a pequeñas profundidades, o indirectamente, con pilotaje, los cimientos resultan baratos: puede aumentarse, sin gran coste, el número de apoyos. Ya citamos en el tomo I (pág. 238) muchos puentes que por esta economía de cimentación pudieron sustituirse con pontones.

No debe olvidarse, además, que el precio del metro cúbico de cimientos, o el de metro lineal de hincá de pilotes o de cajones, *decrece sensiblemente con el número de unidades*, porque los gastos generales de adquisición, transportes, instalación y puesta en marcha de los medios auxiliares, y la amortización de una parte de ese material, tienen que repartirse entre los cimientos que se ejecuten en una obra. Mil metros cúbicos de cemento por aire comprimido pueden costar a 200 pesetas por metro cúbico; pero si sólo fueran 200 m.³ los cimientos a ejecutar, no bajaría su precio de 300 a 350 pesetas por metro cúbico. Análogos aumentos de precios unitarios se observarían en cualquier otro procedimiento de cimentación.

En resumen, el coste de la *unidad* de cimentación se reduce a medida que aumenta el número de apoyos, por lo que el miedo a los cimientos costosos debe desaparecer. La Ingeniería tiene hoy más recursos que antes: los cajones de hormigón armado; las tablestacas y pilotes metálicos o, mejor aún, de hormigón armado; las inyecciones de mortero, y, en último extremo, el aire comprimido (que resulta económico aplicado a un gran número de pilas), cimientos que conviene ejecutar con abundantes medios auxiliares, permiten el aumento del número de apoyos.

Es evidente, pues, que en el ejemplo anterior resultará bastante más económica la unidad de cimentación para nueve apoyos, que para cinco, y aún más que para tres.

Influencia de los apoyos. — Veamos ahora la influencia que pueden tener los apoyos. A primera vista puede creerse que los

dos estribos son factores comunes, de valor constante, cualquiera que sea la distribución de luces.

Podrá ser esta consideración casi exacta, tratándose de tramos rectos, que sólo producen reacciones verticales en sus apoyos.

Pero no así en los puentes en arco; en éstos el volumen de los estribos y de sus cimientos aumenta en proporción de los empujes oblicuos a que estarán sometidos, que son, a su vez, función de las luces, y aumentan en oblicuidad con el rebajamiento.

Para igual altura de rasante e iguales luces, los estribos y sus cimientos crecen sensiblemente de importancia con los rebajamientos de la bóveda (fig. 56).

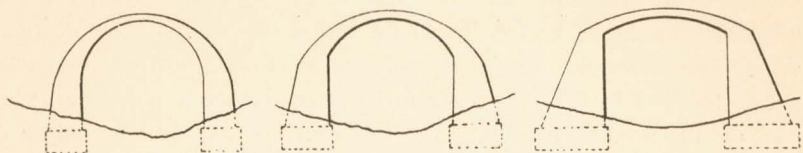


Fig. 56

En las pilas, los aumentos de volúmenes son menos acentuados, pero también necesitan tener mayores gruesos a medida que crecen las luces de los tramos rectos y, sobre todo, las de los arcos; en éstos la desigualdad de los empujes EE' , cuando un arco está cargado y el contiguo descargado, determina una resultante R

oblicua, que obliga a ensanchar la pila y el cimiento (fig. 57).

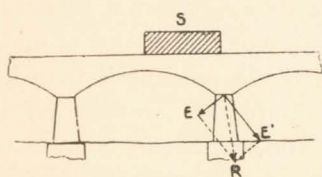


Fig. 57

Una vez calculados por fórmulas empíricas los espesores aproximados de estribos y pilas, en función de su altura, la comparación de presupuestos puede establecerse fácilmente.

Se miden los cubos de las fábricas y las superficies de los paramentos de varias soluciones (fig. 58), y se obtienen presupuestos muy aproximados, que se comparan, a su vez, con distribuciones variadas de tramos metálicos, cuyos pesos por metro lineal se deducen de tablas.

Para el estudio completo es menester estudiar las soluciones de hormigón armado, ya sea con arcos o con tramos rectos.

Y las metálicas, con tramos rectos de tipo corriente.

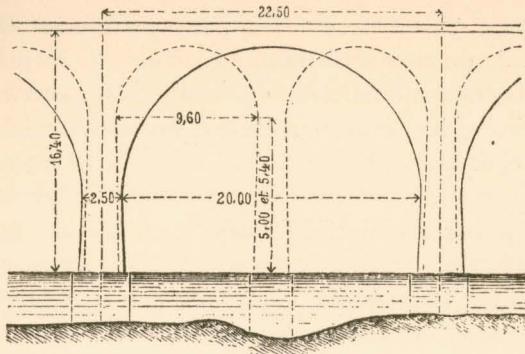


Fig. 58

Modelos oficiales de puentes.—Hoy este trabajo se facilita extraordinariamente en España con los modelos oficiales de puentes para carreteras y caminos vecinales, estudiados ya, y los análogos para ferrocarril, que se están redactando (1).

Para *puentes de caminos vecinales*, de simple vía (2), hay modelos de:

Tramos rectos de hormigón armado, proyectados por D. Juan M. de Zafra, aprobados por R. O. de 31 de marzo de 1923.

Tramos rectos metálicos, proyectados por D. Domingo Mendizábal;

Puentes en arco de hormigón armado, con rebajamientos de $1/10$ — $1/4$ y $1/2$, proyectados por el autor.

Las luces teóricas (entre ejes de apoyo en tramos rectos, o de las directrices en arcos) son para todos estos modelos de puentes: 10 — 11,50 — 13,00 — 14,50 — 16 — 18 — 22 — 23 — 25 — 28 32 y 36 metros.

Para *puentes de carretera de tercer orden, de doble vía*, hay modelos de:

Tramos metálicos, proyectados por D. Domingo Mendizábal, aprobados por R. O. de 21 de marzo de 1922;

Tramos rectos de hormigón armado, proyectados por D. Juan M. de Zafra, aprobados por R. O. de 31 de enero de 1922.

Puentes en arco de hormigón armado, proyectados por el autor, aprobados por R. O. de 10 de enero de 1923.

(1) Dedicamos a estos modelos el capítulo XVII, en la tercera parte de este tomo.

(2) Ya describimos los de pequeña luz en el tomo I, página 224.

Las luces de estos modelos para carreteras son las mismas que en los de puentes de caminos vecinales, y además se ha extendido el estudio a las luces de 40 — 45 y 50 metros, para los tramos metálicos, los tramos rectos y los arcos rebajados al 1/10.

Para los arcos rebajados al 1/4 sólo se han estudiado hasta 45 metros.

Para los tramos metálicos hay modelos con tablero superior e inferior.

Por último, la Comisión nombrada por R. O. de 25 de octubre de 1926 para el estudio de los modelos de ferrocarril de vía ancha (1), está estudiando los siguientes modelos:

Losas de hormigón armado: para luces de 1 — 2 — 3 — 4 y 5 m.

Tramos rectos de hormigón armado: para luces de 5 — 6 — 7,25 — 8,50 — 10 — 11,50 — 13 — 14,50 — 16 — 18 y 20 m.

Arcos de hormigón en masa: con rebajamientos de 1/10 — 1/4 y 1/2 para luces de 10 — 11,50 — 13 — 14,50 — 16 — 18 — 20 — 22 — 25 m., y además arcos de 28 m. para 1/4, y de 28 y 32 m. para 1/10.

Arcos de hormigón armado: con rebajamiento de 1/10 y 1/4 para luces de 25 — 28 — 32 — 36 y 40 m., estudiándose además los de 45 y 50 m. para rebajamiento de 1/10.

Tramos metálicos, de tablero superior e inferior, para luces de: 20 — 22 — 25 — 28 — 32 — 34 — 36 — 45 y 50 m.

Como el estudio de estos modelos, calculados para las nuevas sobrecargas oficiales (2), comprende las cubicaciones detalladas de los tramos y arcos, y las dimensiones mínimas que deben tener los estribos y pilas de los puentes en arco, el estudio comparativo de todas las soluciones posibles de los puentes hasta 50 metros de luz es muy rápido.

Para dar idea de ello, reproducimos en la lámina 1.^a, al final de este tomo, los tipos en arco que el autor estudió para los puentes de carretera.

(1) Esta Comisión está presidida por el autor, y forman parte de ella los Profesores de la Escuela D. Domingo Mendizábal y D. Alfonso Peña Boeuf.

(2) Justificadas en el concienzudo trabajo de D. Domingo Mendizábal, aprobado, con elogios calurosos, por R. O. de 24 de septiembre de 1925.

Tramos o arcos. — Dado un perfil transversal del río en el que se señale el desagüe lineal, los niveles de estiaje, los de crecidas y la rasante, todos ellos fijados por las consideraciones de capítulos anteriores, se dibujan las distintas soluciones de modelos oficiales que pueden aplicarse. Se deducen los importes de la superestructura y de los apoyos y cimientos correspondientes, calculados aproximadamente, y se obtienen así los costes de las soluciones posibles, entre las que pueden resultar en algunas de ellas diferencias pequeñas.

De un muy interesante estudio comparativo hecho por el Ingeniero D. José Barcala (1), con precios medios para el hormigón y el acero, se deduce que, por lo menos, para los puentes de carreteras, *son más económicos los tramos rectos de hormigón armado hasta 25 metros de luz, y para luces mayores, los arcos de hormigón armado; los tramos metálicos resultan siempre más caros.*

Pero hay otro factor también favorable en muchos casos a los tramos rectos.

Cuando no se tenga confianza absoluta en la *incomprensibilidad del terreno* en que se apoya el cimiento, es peligroso proyectar arcos rígidos; un asiento de cualquier apoyo puede determinar la rotura y hasta la caída de un arco.

En cambio, los tramos rectos, independientes, como son los modelos oficiales, pueden sufrir asientos desiguales de sus pilas sin que peligre el puente. Es fácil levantar con gatos hidráulicos los tramos movidos y recalzar por debajo con hormigón las impostas de los apoyos (2).

Tratándose de puentes de ferrocarril, y dadas las considerables sobrecargas y esfuerzos secundarios que hoy se adoptan para el cálculo, creemos que hasta luces de 30 metros se dará generalmente la preferencia a los arcos de hormigón en masa, aunque los tramos rectos de 10 a 18 m. quizá resulten más baratos, pues en general los Ingenieros ferroviarios siguen algún tanto recelosos respecto al porvenir del hormigón armado, sometido a los violentos choques y vibraciones de los trenes rápidos.

(1) Publicado en la *Revista de O. P.* de 1.º y 15 de agosto de 1923, cuya lectura recomendamos.

(2) Lo hemos hecho, sin interrumpir el tránsito, en dos puentes en Marruecos: los puentes del Mogote y del Smir, en los que profundas socavaciones determinaron el asiento de algunas de las palizadas de apoyo.

Pero hasta que no estén estudiados los modelos oficiales no podemos adelantar las diferencias de coste entre unas y otras soluciones.

Elección de viaductos. — El problema varía según que se trate de un *viaducto* para salvar una depresión del terreno (fig. 59), o de un *punte-viaducto*, en que hay que dar además paso al agua (figura 60).

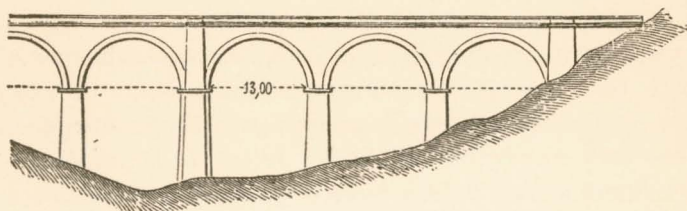


Fig. 59. Viaducto

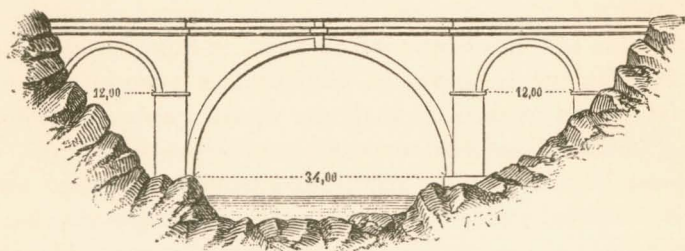


Fig. 60. Punte-viaducto

En estos casos, poco comunes, deberán hacerse estudios comparativos análogos a los que el autor indicó en el capítulo II; ya vimos allí las enormes diferencias de coste obtenidas con soluciones todas ellas clásicas.

Pero son más corrientes los viaductos propiamente dichos.

Abuso de los viaductos. — En los ferrocarriles es donde con más frecuencia se precisa construir viaductos.

Sobre todo en terrenos montañosos, en que los trazados imponen las rasantes de subida o bajada, y en que los grandes radios de las curvas impiden a la línea plegarse a las inflexiones de las laderas, son muchos los pasos sobre vaguadas que parecen exigir viaductos.

Aunque suelen ser obras costosas, se ha abusado y continúa abusándose de ellas, existiendo numerosos viaductos innecesarios; unas veces porque hay Ingenieros que tienden a proyectar una obra de importancia; otras veces, por desidia de estudiar soluciones más económicas.

Conocemos varios casos de viaductos que pudieran haberse sustituido, con enorme economía, por terraplenes ejecutados con tierras sobrantes de los desmontes inmediatos, que hubo que transportar a caballos.

Resultan entonces dos gastos inútiles: el de los depósitos a caballos de las tierras sobrantes, y el de la construcción de viaductos innecesarios, que podrían sustituirse por caños o pontones, a lo sumo (1).

¡Debieran perder su título los Ingenieros culpables de tamaños despilfarros!

Supresión de los viaductos. — Como suelen los viaductos construirse simultáneamente con las explanaciones que a él acceden, deben estudiarse, ante todo, los materiales sobrantes: tierras y rocas, que han de excavarse en los desmontes próximos.

Serán frecuentes los casos en que puedan *suprimirse* los viaductos, sustituyéndolos con terraplenes, aunque sean de gran altura, y reduciendo la obra de la vaguada a la sección indispensable para el desagüe.

Es más, hasta puede convenir la supresión total de viaductos construidos.

Citaremos varios casos.

En la línea férrea de Oviedo a Gijón, próximo a la estación de Lugo de Llanera, existía un viaducto importante de sillería. Al cabo de veinte años de servicio pudo observarse que la piedra se descomponía poco a poco, amenazando la ruina de la obra.

Se ha sustituido con un terraplén.

En la línea de Albacete a Cartagena existía un tramo metálico de 40 m. de luz y 24 m. de altura, sobre la rambla de Carricalejo.

En lugar de reforzar el tramo, se sustituyó por un terraplén, cubriendo un grupo de cinco alcantarillas ovoides de 3 m. de al-

(1) En una pequeña línea, que hemos visitado, la economía que hubiera podido obtenerse por estos conceptos es del orden de cerca de un millón de pesetas.

tura (fig. 61), formando cuerpo con unas pantallas de hormigón armado de 7 m. de altura, aguas arriba y aguas abajo.

Con esta inteligente disposición, la pantalla de aguas arriba es una presa de embalse de aguas, y aun en el caso de crecidas mayores a las previstas, podrá el agua embalsarse por delante de

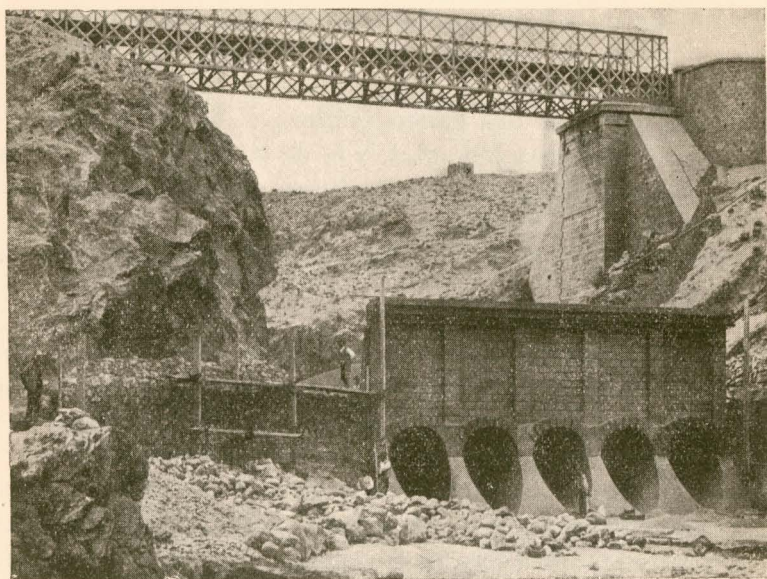


Fig. 61. Substitución del viaducto de Carricalejo por un terraplén

la pantalla de aguas arriba y *desaguar en carga* por las alcantarillas, con lo que su velocidad en ellas y el caudal de desagüe *aumentará proporcionalmente al cuadrado* de dicha altura de embalse (1).

Cuándo convienen los viaductos. — Pero hay otros muchos casos en los que, por el contrario, la construcción de un viaducto ofrece ventajas considerables.

Al ocuparnos en el capítulo II de la ubicación de los puentes, ya expusimos que un gran viaducto, bien emplazado, permite

(1) El Profesor D. Domingo Mendizábal, autor de este proyecto, ha publicado muy interesantes detalles de esta obra en la *Revista de O. P.* de 1.º de mayo 1925.

reducciones de longitud de vía, análogamente a las obtenidas con la construcción de túneles, con gran ventaja del trazado horizontal.

Asimismo, en el capítulo IV, al estudiar las rasantes de los puentes, demostramos que algunos viaductos, a primera vista costosos, evitan largos desarrollos de trazados, que exigirían la bajada y subida de puentes bajos, con el consiguiente aumento de los gastos de conservación y, *sobre todo, de tracción.*

Para apreciar, pues, la conveniencia de un viaducto, no sólo deben compararse los gastos de construcción de la obra y sus accesos, sino que debe entrar en cuenta *la capitalización* de los citados gastos de conservación y aun los más importantes, de tracción, por los aumentos de recorrido.

Hay, por último, los casos en que, por no existir tierras suficientes en las trincheras inmediatas, y producir éstas rocas abundantes, conviene construir viaductos.

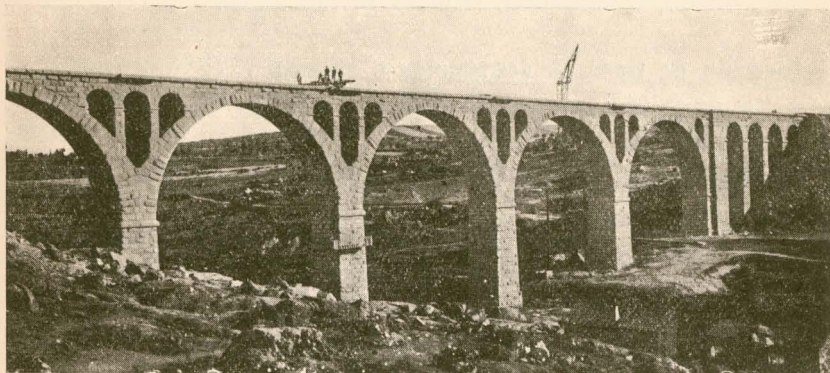


Fig. 62. Puente-viaducto de Avila

Se proyectan, generalmente, de fábrica: sillarejo, y mampostería, como el nuevo viaducto de Avila para la línea de Salamanca (fig. 62), y, en muchos casos, de hormigón en masa, con bóvedas de medio punto iguales, de 10 a 25 metros de luz, y pilas que han alcanzado a veces alturas de 65 metros, como las del viaducto de Cruzeiro, que citamos en nuestro tomo I, página 130.

Para fijar las luces, se procede por tanteos, como se indica en el ejemplo de las figuras 63 y 64, para un viaducto de 33 me-

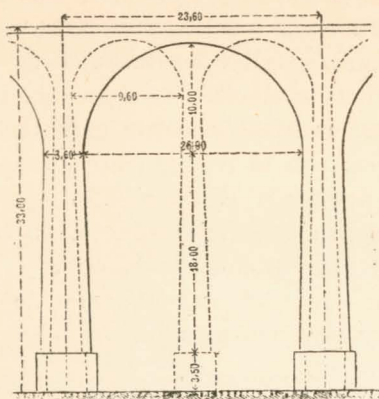


Fig. 63

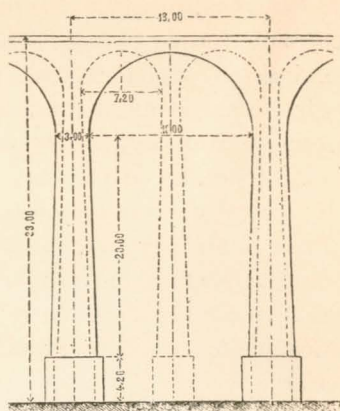


Fig. 64

tros de altura, y después se comparan con las soluciones de hormigón armado, o metálicas, si éstas fueran admisibles (1).

Elección de tipos de acueductos o sifones.— El problema de las obras de fábrica necesarias para los canales entraña un factor más de indecisión.

Efectivamente, para atravesar un valle con un canal, puede realizarse (fig. 65):

- A Con un acueducto, ya sea con bóvedas, como en el croquis, o con tramos rectos.
- B Con un sifón, enterrado en toda la anchura del valle, para suprimir las dilataciones o contracciones del tubo. Así lo hicimos en 1906, en el sifón de Alhelda. (Véase capítulo XXIII.)
- C Pero si la carga o presión máxima P que tendría el sifón, resultara excesiva, o si en el talweg del valle corriese un río que exigiera un puente, podría convenir la disposición mixta de *puente-sifón*, con lo que la carga del tubo quedaría reducida a P' . Así lo hicimos en 1905, en el sifón del Sosa. (Véase capítulo XXIII.)

(1) Los modelos oficiales de puentes para ferrocarriles, que antes hemos citado, facilitarán mucho estas comparaciones.

Claro es que con estas dos últimas soluciones de sifón, para no exagerar los diámetros y coste de los tubos, habrá que admitir una pendiente piezométrica superior a la del acueducto, *cuya pérdida de carga deberá capitalizarse*, para tenerla en cuenta en la comparación de presupuestos.

Efectivamente, los acueductos abiertos necesitan, a igualdad de sección, mucha menor pendiente que las tuberías de una conducción forzada. El extremo n' del sifón quedaría, pues, por debajo del extremo n del acueducto.

Para canales destinados a fuerza motriz, que son los más frecuentes, esta pérdida de carga representará una reducción de kilovatios, que equivalen a una disminución de ingresos.

Es preciso capitalizar esa pérdida para añadir su importe al coste de la solución *sifón*, y asegurarse de que la economía que éste pueda producir sobre la solución *acueducto* no resulte ilusoria en la explotación del canal.

Después de resuelto este problema previo, habrá que tantear las soluciones posibles para cada caso, que son también bastantes, según veremos en la cuarta parte de este tomo.

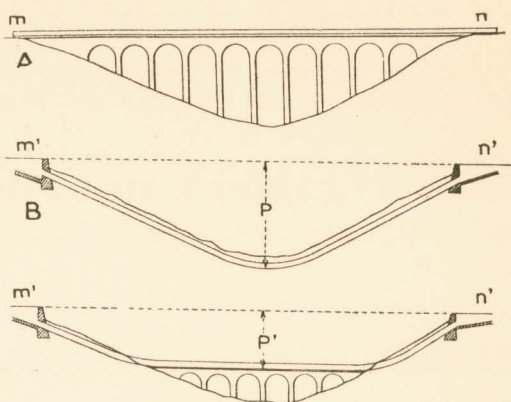


Fig. 65. Soluciones en un canal

tas y ventanas; encima de estos muros se establece un piso.

Se procede igualmente con los arcos metálicos de los puentes, que son cerchas paralelas, sobre las que se dispone el tablero.

Nuestro ilustre colega Sejourné fué el primero que, percatándose del enorme exceso de resistencia de las bóvedas continuas, imaginó aplicar aquellas antiguas disposiciones a las grandes bóvedas.

Exceso de resistencia de las bóvedas continuas.—Las bóvedas son piezas idealmente constituídas para trabajar a compresión simple.

Tres causas se oponen a que esto se realice estrictamente:

a) Falta de concordancia mecánica entre la *distribución* del peso propio y la forma del arco.

b) Las sobrecargas móviles.

c) Las variaciones de volumen del material.

El progreso de los métodos de cálculo permite evitar la primera. Las otras dos son inevitables.

Así, pues, toda bóveda tiene que estar prevista para resistir flexiones.

Pero la inseguridad, más que la falta de resistencia de tracción, ha proscrito hasta ahora el trabajo de tensión en las fábricas.

Por eso el tamaño del núcleo central viene determinado por la máxima excentricidad de la curva de presiones, y también, por tanto, los espesores de la sección (independientemente de que se hayan alcanzado o no los máximos trabajos unitarios que permita el material empleado).

El aumento de grueso en las bóvedas es, pues, un artificio para luchar contra la flexión.

Consecuencia de ello es que las bóvedas de gran anchura relativa tengan un exceso de resistencia elástica, lo que se traduce en un forzoso y exagerado aumento del coeficiente de seguridad (1).

Es el mismo caso de las piezas que pueden pandear; sus espe-

(1) En las bóvedas de fábrica rara vez se pasa de los 40 kg./cm.², siendo así que son muchas las piedras y morteros que resisten 300 y 400 kg./cm.², habiendo basaltos que llegan a 2.000. De esta forma, el coeficiente de seguridad resulta mucho mayor que el que se suele fijar para el acero, o el de 25 a 28 por 100 de la carga de rotura, que se admite para el hormigón fino para armar.