

SEGUNDA PARTE

OBRAS ESPECIALES

CAPÍTULO **VIII.**—Viaductos.

CAPÍTULO **IX.**—Acueductos.

CAPÍTULO **X.**—Sifones de hormigón armado.

CAPÍTULO **XI.**—Puentes oblicuos, en curva y en rampa.

CAPÍTULO **XII.**—Ensanches, accesos y transformación de puentes.

CAPÍTULO **XIII.**—Decoración.

CAPÍTULO **XIV.**—Resultantes de mi experiencia.

CAPITULO VIII

VIADUCTOS

§ I.—Consideraciones generales.

Definiciones.—Necesidad de los viaductos.—Su clasificación: por su emplazamiento o por sus rasantes.—Importancia de los gastos de tracción que ahorran.—Solución óptima financiera.

§ II.—Viaductos de fábrica.

Historia.—Tipos franceses (Fontpedrouze).—Tipos españoles.—Aplicación de nuestros modelos oficiales.—Pilas.—Viaductos suizos.

§ III.—Viaductos de hormigón armado.

Con tramos rectos: ejemplos de Petrópolis (Brasil), Tricanco (Chile) y Tirso (Cerdeña).—*Con arcos*: ejemplos de Serra (Italia), Grandfrey (Suiza) y Teruel.—*Con arcos y tramos rectos*: ejemplos de Barranco Hondo y Galcerán (Tenerife); del ferrocarril de Alicante a Alcoy; de la villa de Alcoy y del río Chiusella (Italia).

§ IV.—Pasos superiores y pasarelas.

Pasos superiores.—Pasarelas.

§ V.—Conclusiones.

Menores luces que para los puentes.—Economía en las cimbras.—Distribución de luces.—Elección de materiales.—Elección de tipos.—Ni decoración ni grandes arcos.

§ I.—CONSIDERACIONES GENERALES

Definiciones.—Clasificamos con el nombre de *viaductos* aquellas obras que atraviesan valles o simas del terreno, en cuyas vauadas *no corren* ríos de carácter permanente.

Cuando los puentes sobre ríos tienen rasantes de altura muy superior a las necesidades de desagüe, deben designarse con el nombre de *puentes-viaductos*.

A pesar de ello, hay muchos puentes-viaductos y hasta verdaderos viaductos que continúan llamándose impropiaente *puentes*.

Si el viaducto se destina a canal, se denomina *acueducto*; a estas obras especiales para pasos de agua destinaremos el capítulo siguiente.

En éste sólo nos ocuparemos de los viaductos para carreteras y ferrocarriles.

Hay, sin embargo, ciertos viaductos que se construyen para pasar por encima de otras vías, que se llaman *pasos superiores*; dedicaremos a estas obras, que cada día son más frecuentes, el § IV, y en éste incluiremos también las *pasarelas*, que son viaductos ligeros, exclusivamente dedicados al paso de peatones.

Necesidad de los viaductos.—Aunque en el capítulo IV del tomo III ya indicamos la conveniencia de muchos viaductos, así como la inutilidad de algunos otros, ampliaremos aquellas consideraciones.

Muchos viaductos se construyen para evitar los descensos al fondo de valles profundos que obligan después a subir otro tanto por la ladera opuesta.

Es frecuente que el aumento de recorrido de estas bajadas y subidas exija largos desarrollos de una carretera, cuyo aumento de gastos sea igual o inferior al del coste del propio viaducto; esta razón económica basta para justificar un viaducto.

Cuando en poblaciones existen barrios situados sobre laderas opuestas conviene también construir viaductos que comuniquen rápida y cómodamente las zonas altas de la villa (1).

(1) En este mismo capítulo describiremos los viaductos de Alcoy, Teruel y Galcerán (Santa Cruz de Tenerife), que son de este tipo.

Pero es, sobre todo en ferrocarriles, donde los viaductos son indispensables, no sólo para atravesar grandes valles cuando éstos son normales a la dirección general del trazado, sino cuando en una ladera la vía cruza barrancadas profundas, que los radios mínimos admitidos para las curvas no consienten contornear; es una solución inversa a la de los túneles, con los que hay que atravesar los salientes de laderas porque las curvas mínimas producirían trincheras de excesiva altura.

Claro es que si en las inmediaciones de aquellas barrancadas existieran productos sobrantes de desmote o préstamos económicos, y *cuando la altura de la rasante no exceda de unos 20 m.*, podría suprimirse el viaducto, substituyéndolo con un terraplén y limitando la obra de fábrica a lo que exija el indispensable desagüe para las lluvias que afluyan a la vaguada (1).

Empero, a pesar de algunos excesos análogos que un concienzudo estudio evitará—pues que estas obras son siempre costosas—, se cuentan por millares los viaductos de ferrocarriles, y en esta época en España se aproximan a un centenar los que necesitan las vías férreas en período de construcción.

Su clasificación: por su emplazamiento o por sus rasantes.—

Hay, pues, en definitiva dos tipos de viaductos:

a) Aquellos en que su emplazamiento y rasante están obligados por el trazado de la vía; *el problema es entonces esencialmente técnico*, aunque dentro de las soluciones posibles deba elegirse la de menor coste.

b) Aquellos en que el ingeniero ha de elegir, *no sólo el emplazamiento, sino la rasante, coordinando ambos factores con los trazados de acceso y de salida al viaducto.*

Además de la técnica para resolver estos proyectos parciales, el problema se complica por la intervención de otro factor: *el financiero*, que puede influir y hasta imponer la solución óptima, cuando se disponga, por supuesto, de medios económicos para realizarla.

(1) Ya citamos a este propósito, en el tomo III, pág. 103, algunos viaductos innecesarios que se han construido y algunos otros que después de utilizados muchos años se han substituído por terraplenes.

Importancia de los gastos de tracción que ahorran.—En efecto: ya indicamos en el tomo III, páginas 42 y 79, pero debemos insistir aquí, que en el estudio comparativo de las diferentes soluciones de un viaducto de tipo *b*), no sólo deben compararse *los gastos de construcción* de cada una de ellas, sino *los gastos anuales y permanentes de su conservación y, sobre todo, de los gastos de tracción y explotación que ahorrarán.*

El consumo de energía, ya sea animal, ya en petróleo, carbón o en kilowatios, será tanto menor cuanto más se reduzcan los desniveles y las longitudes de los accesos a los viaductos y las milésimas de sus rasantes.

Solución óptima financiera.—Deberán, pues, sumarse en cada solución a los gastos de construcción de los viaductos y sus accesos, *la capitalización* (al interés que cueste el dinero adelantado) de:

1.º Los gastos de conservación de todas las obras, vías y pavimentos.

2.º Los gastos de tracción y explotación que ocasionará el tráfico medio que se calcule pueda tener el nuevo trozo de vía.

La comparación de todos estos sumandos *para cada solución de rasante*, es la que permitirá obtener *la solución óptima desde el punto de vista financiero.*

§ II.—VIADUCTOS DE FABRICA

Historia.—Los romanos, tan grandiosos y atrevidos en sus acueductos, no construyeron viaductos para sus vías, prefiriendo bajar con ellas hasta las márgenes de los ríos, para reducir así la altura de sus puentes.

Tampoco conocemos viaductos de la Edad Media, ni del Renacimiento.

En España, en el siglo XVII se construyó el viaducto de Ronda (figura 241), mazacote y feo, que más parece una presa que un puente, y que podía haber salvado el tajo de aquel barranco con un ligero arco de unos 40 m. en lugar de un arco de 14 m. de luz y 130 m. de altura, con la tercera parte de su coste.

Pero la construcción de los ferrocarriles, iniciada en la segunda mitad del siglo XIX, exigió numerosos viaductos.

En España algunos de éstos se ejecutaron de fábrica con la mayor sencillez (fig. 242), pero en la mayor parte de los casos se prefirieron viaductos enteramente metálicos, o por lo menos en su mayor longitud (fig. 243).

En Francia, país de abundantes canteras con piedra de fácil labra, se generalizaron los grandes viaductos de fábrica en todas sus vías férreas.

Tipos franceses. — Principiaron allí imitando las disposiciones de los acueductos romanos, con arcos de medio punto de 10 a 15 metros y arcadas de arriostamiento entre las pilas, como en Chaumonte y Morlaix (figs. 244 y 245), pero pronto aumentaron los vanos de las bóvedas a 20 y 25 m. de luz y se suprimieron por innecesarios los arcos inferiores, como en los viaductos de l'Aulne

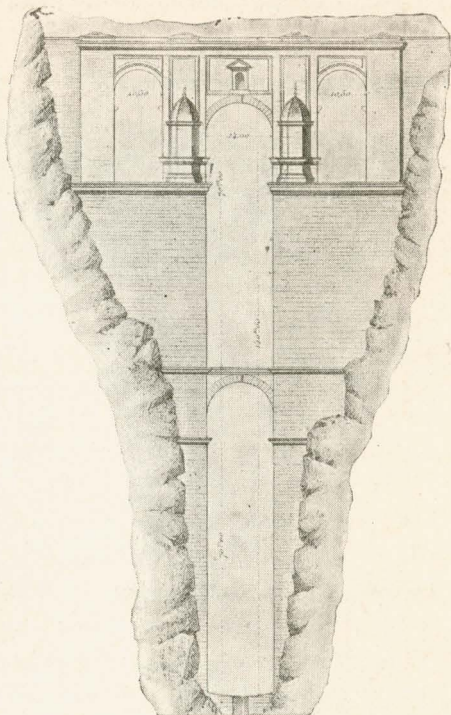


Fig. 241.—Viaducto en Ronda.

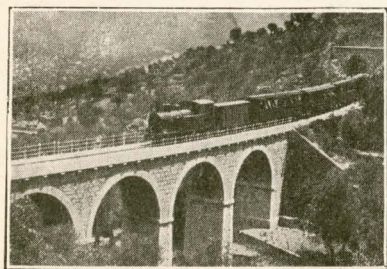


Fig. 242.—En Mallorca.

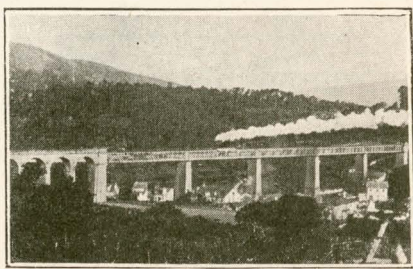


Fig. 243.—En Redondela (Pontevedra).

(figura 246), y el mayor de todos de la Creuize (fig. 247) con arcos de 25 m. y pilas que alcanzan a 63 m. de altura, que el autor considera de aspecto elefantiásico (1), aunque Sejourné lo califica como el más hermoso de Francia.

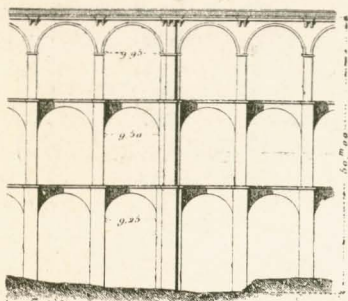


Fig. 244.—Chaumont.

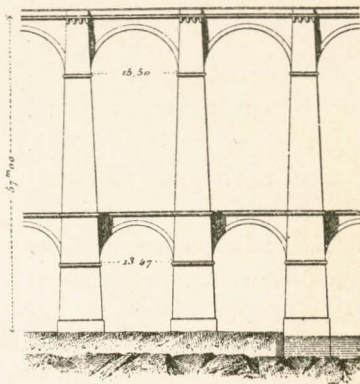


Fig. 245.—Morlaix.

Pero aun estos últimos viaductos resultan muy costosos para nuestra época de crisis económica.

Tienen sus pilas contrafuertes, a veces inútiles, siempre costosos,

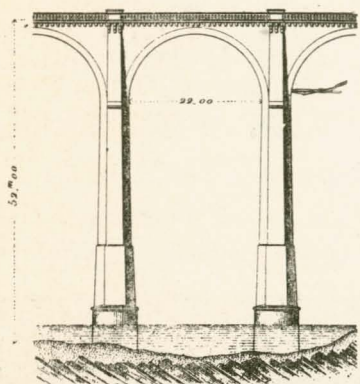


Fig. 246.—Sobre l'Aulne.

y en algunos de ellos se pusieron elegantes pretiles de sillería, fábricas escogidas y ornamentación cara (véanse detalles del viaducto del Aulne, tomo III, pág. 138).

En muchos se han intercalado pilas-estribos, que tampoco son necesarias, según ya dijimos en el tomo III, página 136.

Sus tímpanos se han paramentado en talud y hasta con generatrices parabólicas, para evitar el supuesto efecto visual de desplome.

Asimismo en algunos viaductos de gran altura se han afinado los taludes de sus pilas, perfilando sus taludes en curvas parabólicas

(1) Pueden verse más detalles sobre esta clase de viaductos de fábrica para ferrocarriles, en el libro de Sejourné *Grandes Voutes*, tomo VI, libro II.

de segundo y tercer grado y hasta logarítmicas. A pesar de que sus luces no exceden de 25 m., con alguna frecuencia se han aligerado interiormente los tímpanos y hasta los estribos con disposiciones análogas a las de los puentes de fábrica estudiados en el tomo III, cuyo



Fig. 247.—Viaducto de Creuize.

aumento de mano de obra excede casi siempre de la economía de material (1).

Por último, y es, a nuestro juicio, su primordial defecto, las anchuras de sus bóvedas—comprendidas entre 4,50 y 5 m. para simple vía y 8 m. para doble vía—son excesivas, ya que sólo tienen que resistir vía de 1,50 m. con anchura de balasto de unos 3,70 m. Pueden y deben reducirse las bóvedas y apoyos en la forma que preconizamos en nuestro tomo I (pág. 160) para muros y pequeñas obras,

(1) Sejourné. *Grandes Voutes*, tomo VI, pág. 62 y siguientes.

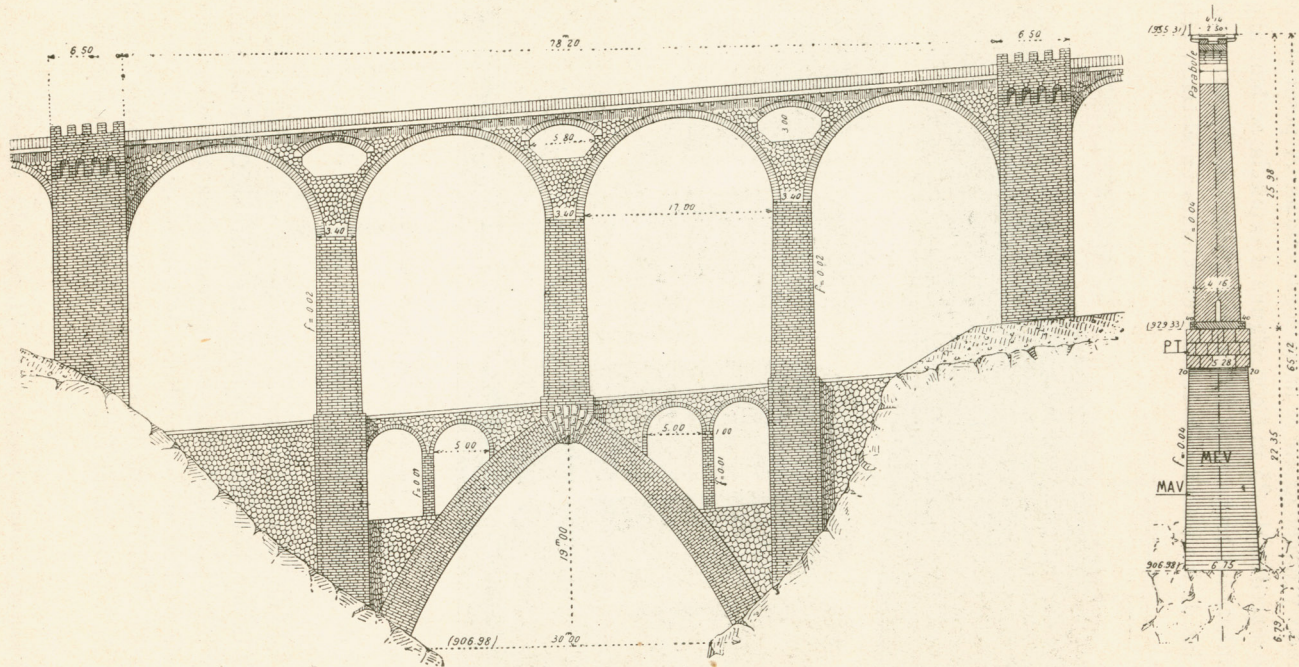


Fig. 248.—Viaducto de Fontpedrouze.

obteniendo la anchura de la plataforma para el paso del personal de la vía mediante forjados de H. A. en voladizo. Se ahorran así considerables volúmenes de bóveda, pilas y cimientos, sobre todo en viaductos de gran altura.

Tan inútil aumento de gasto de los clásicos viaductos franceses no pasó desapercibido a nuestro ilustre colega M. Sejourné.

Viaducto de Fontpedrouse (fig. 248).—Así es que en esta obra, destinada al ferrocarril de vía estrecha entre Villefranche y Bourg Madame, no vaciló Sejourné en proyectar sus bóvedas con un ancho de 2,50 m. (para vía de 1,00 m.), completando la distancia de 4,14 m. entre barandillas con ensanches de H. A. que vuelan 0,82 m. sobre cada lado de los paramentos (1).

Con tan racional disposición—por primera vez empleada en Francia—se consiguió una disminución sensible de las fábricas. Mayor hubiera sido, a juicio del autor—incorregible, como se ve, en su monomanía económica—, suprimiendo el arco ojival y la pila que sobre su clave descansa, ya que con menor coste pudieran substituirse los cuatro tramos centrales de 17 m. de luz, por tres tramos de unos 24 m. Verdad es que entonces sacrificaríamos la originalidad del viaducto, transformándolo en una obra más vulgar.

Pero obsérvese que en este caso, como en la mayor parte de los viaductos franceses de fines del siglo pasado, aunque de buen gusto y refinadas proporciones, suelen estar contruídos en parajes abruptos, sin punto de vista para que los viajeros puedan admirarlos. En estos tiempos de retracción económica, el autor considera lesivo todo gasto suntuario en construcciones exclusivamente industriales, como son los viaductos.

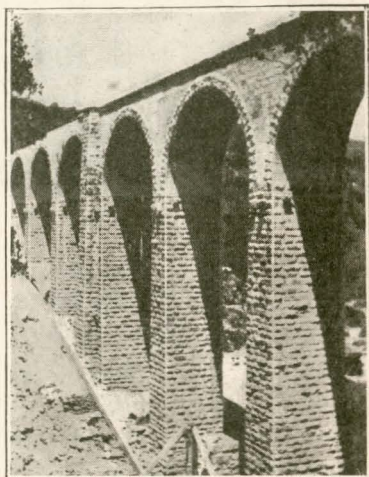


Fig. 249.—F. C. de Vitoria-Estella.

(1) Detalles de este viaducto, en *Grandes Voutes*, tomo V, pág. 87.

Tipos españoles.—En España nuestra Administración, más parsimoniosa, obliga a sus ingenieros a perseguir la máxima economía a igualdad de resistencia y duración (figs. 249 y 250).

El primero es el tipo proyectado por el ingeniero D. Alejandro Mendizábal para varios viaductos del ferrocarril de Vitoria a Estella.

El viaducto del Pangua (fig. 250).—En el km. 422 de la línea de Madrid a Irún, cerca de Pancorbo, substituye a un tramo metálico de 50 m. y seis arcos de 10 m. (tres en cada uno de los dos muros de acompañamiento).

Se han construído nueve arcos de hormigón, todos de 10 m., que

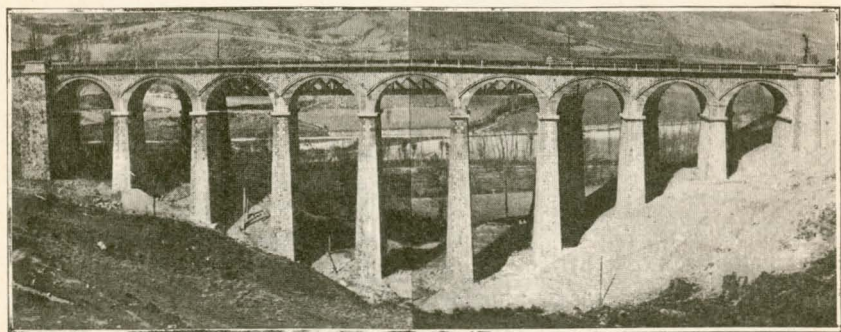


Fig. 250.

resultó la solución más económica entre muchas tanteadas hasta luces de 25 m., aun para alturas de rasante *que llegan a 28 m.*

Las bóvedas son de 7 m. de ancho para doble vía, con voladizos de H. A. para los andenes; los espesores de las bóvedas de 0,80 m. en la clave y 1,50 m. en arranques; los tímpanos son macizos.

El importe de las obras fué de 450.000 pesetas (1).

Aplicación de nuestros modelos oficiales.—Cuando no haya piedra buena y barata puede aun afinarse más aplicando los modelos oficiales para arcos rebajados a $1/2$ para ferrocarriles, descritos en el capítulo III.

(1) Detalles, en la *Revista de Obras Públicas*, año 1929, pág. 388, por D. J. Goitia.

Por de pronto, la anchura de los arcos de hormigón en masa se ha reducido a un mínimo. Además, los tabiques y tableros de H. A., que constituyen sus tímpanos, son ligeros y contribuyen a la rigidez del arco y de la plataforma.

Como están estudiados los arcos de 10 a 25 m., pueden rápidamente compararse los importes de las varias distribuciones posibles, siendo fácil calcular el coste aproximado de las pilas correspondientes.

Pilas.—Completaremos lo dicho sobre esto en el tomo III, página 127.

Para espesor en los arranques puede aplicarse la fórmula de Sejourné, para fábricas con mortero de cal:

$$e = 0,10 L + 0,04 A \quad (1).$$

pues no resultan espesores excesivos, aunque las pilas, como debe siempre hacerse, se ejecuten con morteros de cemento. Se beneficiará en reducción de sus taludes.

Respecto a estos taludes, cuando las rasantes no excedan de 35 m. de altura, suelen ser suficientes darles en alzado 1/50 y transversalmente de 1/25 a 1/40.

Para alturas mayores pueden establecerse retallos o ir aumentando los taludes por pisos, con arreglo a lo que pidan las curvas de presiones. Apenas si la vista percibirá esas insignificantes diferencias de inclinación.

En cuanto a las fábricas que deben adoptarse en estas pilas, así como en los estribos, consideramos suficientes las mamposterías ordinarias o el hormigón ciclópeo, si no hubiese buenos mampuestos.

El autor considera excesiva la preocupación de algunos ingenieros que, persiguiendo la igualdad de presiones en toda la altura de una pila, la ensanchan con el perfil logarítmico, que teóricamente permite cumplir aquella condición. Parécenos mejor dosificar los morteros de cemento en proporción a los trabajos máximos en cada zona, que aumentar con exceso los espesores, lo que es caro y feo.

En el capítulo XI nos ocuparemos especialmente de las pilas de los viaductos en curva o en rampa.

(1) En la que L es la luz y A la altura del carril sobre el terreno. Sejourné. *Grandes Voutes*, tomo VI, pág. 56,

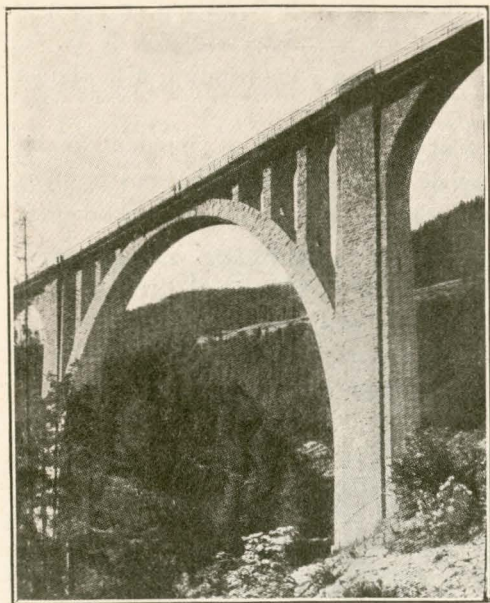


Fig. 251.—Viaducto de Wiessen.

En todos los viaductos de fábrica que acabamos de examinar son aplicables cuanto hemos dicho sobre bóvedas, tímpanos, estribos y pilas en nuestro tomo III.

§ III.—VIADUCTOS DE HORMIGÓN ARMADO

Con tramos rectos.—Con los mismos tipos de tramos rectos que hemos estudiado en el capítulo I pueden construirse viaductos apoyados sobre pilas de fábrica o palizadas de H. A.

Como sus cimientos serán más fáciles, pueden reducirse en proporción las luces de los tramos.

Pero, además, tratándose de viaductos, *cuyos apoyos no suelen correr peligro de socavaciones*, pueden también adoptarse disposiciones parecidas a los viaductos de madera con que durante muchos años los ferrocarriles americanos circularon sobre profundos valles.

Por rapidez de ejecución y economía de primer establecimiento, yanquis y canadienses aprovecharon sus bosques de madera para

Viaductos suizos.—

También en Suiza se han construido un gran número de viaductos de piedra, con las posibles economías de las fábricas y gran austeridad de decoración.

En un gran número de ellos se han realizado (fig. 251, descrito en el tomo III, pág. 232) con una gran bóveda que salve el barranco central, con sus tímpanos aligerados, con dos pilas estribos, a partir de los que comienzan por uno y otro lado viaductos con arcos de menor luz.

levantar colosales viaductos hasta los 70 m. de altura, con disposiciones parecidas a las representadas en las figuras 252 y 253, algu-

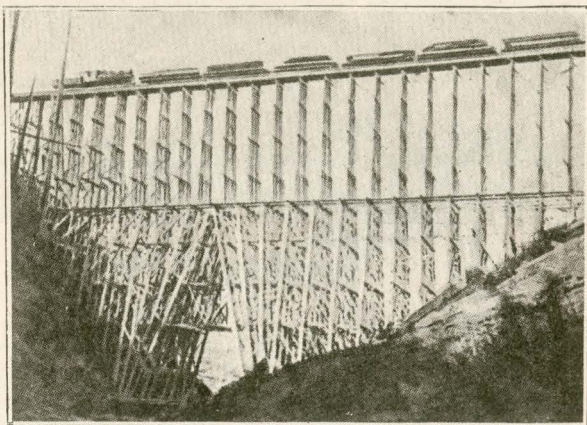


Fig. 252.—Viaducto canadiense de madera.

nos de ellos con doble vía, que, claro es, fueron sucesivamente substituyéndose con pilas y tramos metálicos (1).

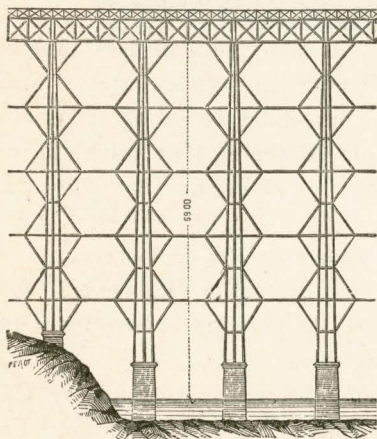


Fig. 253.—Viaducto de madera.

Con el hormigón armado se han imitado, primero, los puentes de piedra: después, los arcos y tramos de acero; de igual modo podremos copiar los entramados de madera, con las evidentes ventajas de su duración indefinida y de la mayor exactitud del cálculo de sus estructuras.

No hay, pues, motivo para desperdiciar esta beneficiosa aplicación del nuevo material, que puede extenderse a muy numerosos viaductos.

Citaremos los ejemplos más característicos.

(1) Pueden verse algunos ejemplos más en el *Curso de construcción de puentes*, de Croizette-Desnoyen, tomo II, pág. 292.

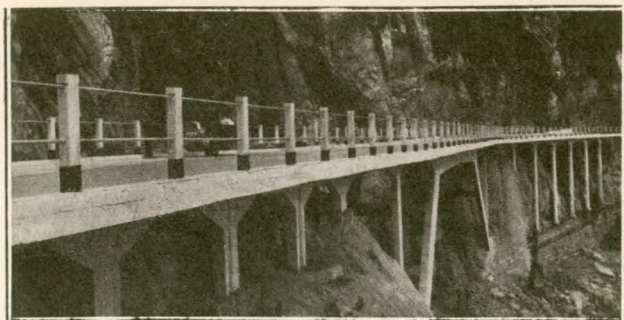


Fig. 254.—Carretera de Río Janeiro a Petrópolis.

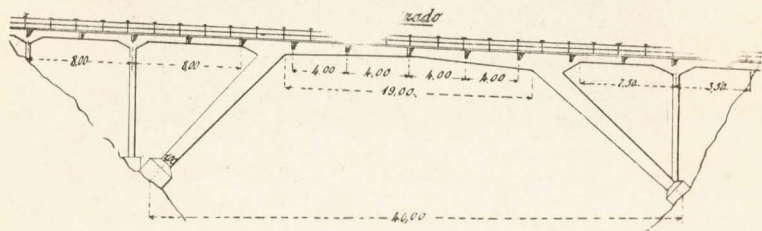


Fig. 255.

Viaducto de Petrópolis (Brasil).—La carretera de Río Janeiro a Petrópolis encuentra en su parte alta un escarpado e irregular cantil de roca, con una profunda depresión, que salva con un tramo recto de 40 m. de luz (figs. 254 a 255 bis).

Es una reproducción de los tramos de madera, con sopandas y jabalcones, que gracias al H. A. permite salvar luces de aquella magnitud.

Este tramo central se prolonga en viaducto, por ambos lados, con tramos cortos de 8 m. adosados a la peña, si bien en estas partes quizá hubiera sido más económico unos muros de mampostería (1).

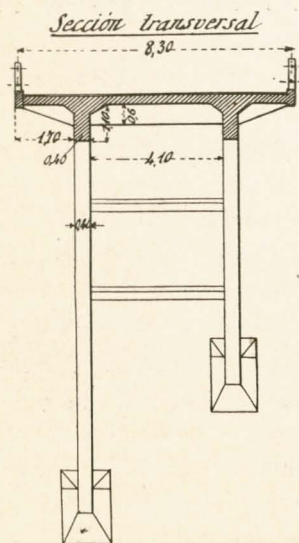


Fig. 255 bis.

(1) Datos que en Río Janeiro me fueron galantemente facilitados por los Ingenieros de Obras públicas de aquella hermosa capital.

Viaducto Tricano (Chile).—Para el ferrocarril de Pua a Tra-
diguen se han construído viaductos del tipo de la figura 256.

Las palizadas son ligeras y están trianguladas dos a dos en
todos sentidos con cruces en San Andrés muy delgadas. Como di-
jimos anteriormente, consideramos preferible y suficiente en es-

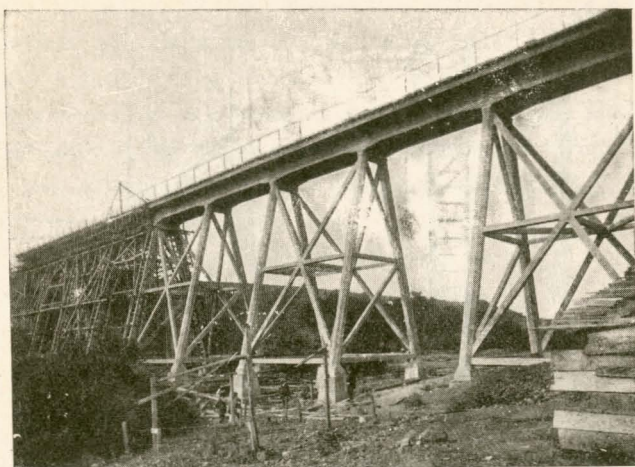


Fig. 256.—Viaducto Tricano (Chile).

tos casos fuertes riostras horizontales empalmadas sólidamente a
los pilares por medio de cartabones armados, como los descritos
en el capítulo anterior (figs. 232 y 233).

Viaducto de Tirso, en Tadasuni (Cerdeña).—Para una carre-
tera situada aguas abajo de la importante presa del Tirso (figu-
ra 257).

La altura de sus mayores palizadas alcanza a 48 m.

Los tableros rectos son continuos en tres grupos de 94 m. de
longitud, divididos en 7 tramos cada uno.

Las palizadas 8.^a y 15.^a son dobles, y llevan rótulas y juntas de
dilatación para facilitar los movimientos de la estructura (1).

Pudieron haberse substituído las cruces de San Andrés, que

(1) Detalles y fotografías, en *Beton U. Eisen*, 1924, pág. 325. Proyecto
del ingeniero Luzzati.

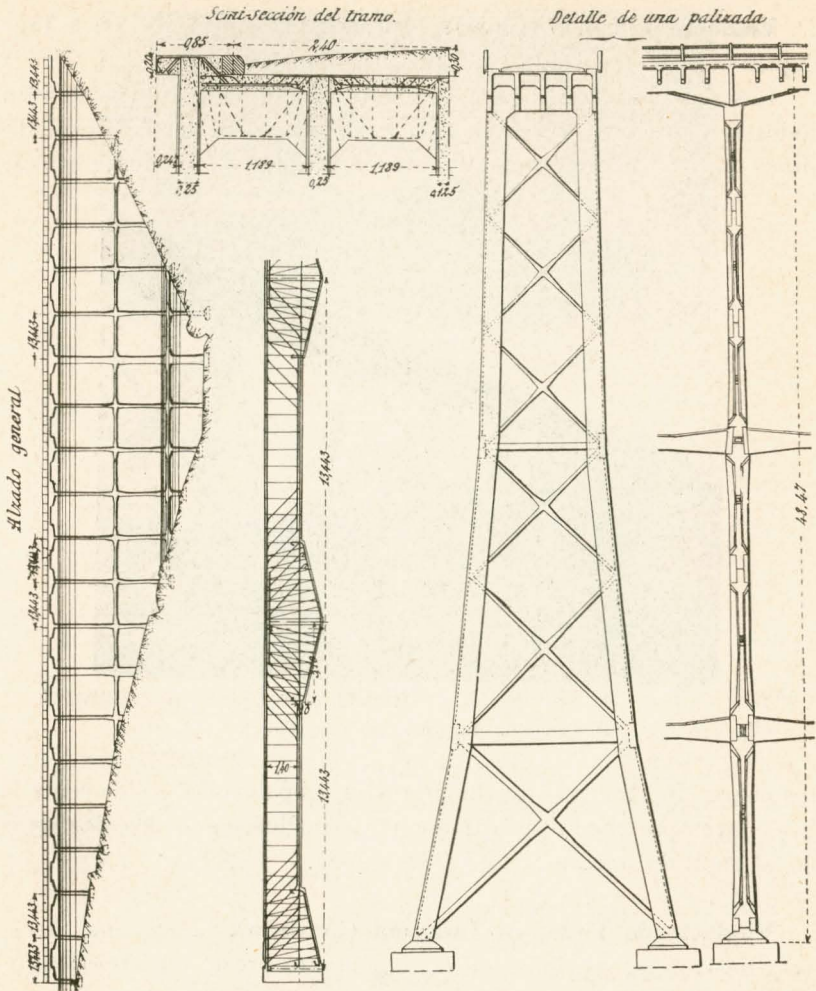


Fig. 247.—Viaducto de Tirso (Cerdeña).

arriostran los pilares, por simples riostras horizontales, fuertemente enlazadas a los pilares.

Es una disposición que puede perfectamente aplicarse en viaductos de ferrocarril, si bien exige un cálculo racional y una excelente ejecución.

Con arcos.—Se aplican a los viaductos iguales disposiciones de arcos de H. A. que para los puentes, con la ventaja de que he-

mos hecho mérito, de que pueden reducirse las luces de los tramos, por la mayor economía que suelen tener los cimientos en los terrenos en que se emplazan los viaductos.

Claro es que en estos viaductos conviene emplear arcos de gran flecha, para reducir la oblicuidad de los empujes en las pilas. Son, en general, de medio punto; pero puede aumentarse aun más la flecha peraltando sus directrices.

A medida que el número de arcos se repite más, el coste de cimbras y mano de obra disminuye.

En los arcos de viaductos no son tan evidentes las ventajas de las armaduras rígidas, como hemos significado en los de puentes, ya que en aquéllos no hay peligro de que sean arrastradas sus cimbras.

Sin embargo, se han empleado también armaduras rígidas en muchos viaductos, según veremos en algunos de los ejemplos siguientes.

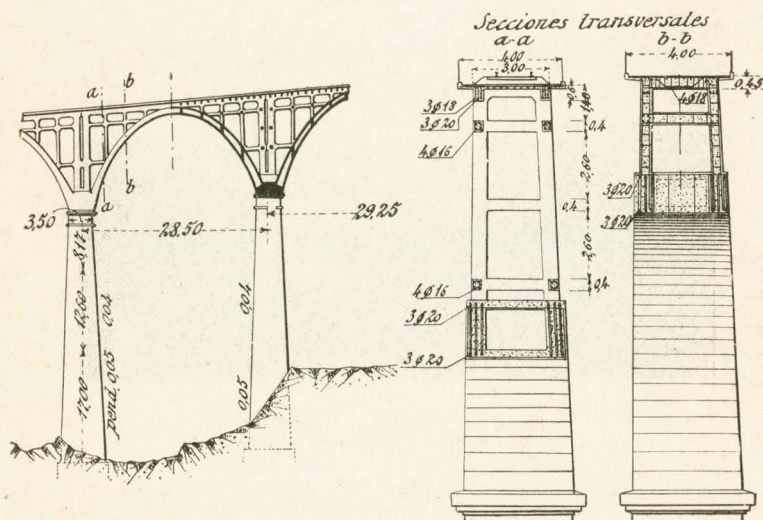


Fig. 248.—Viaducto sobre el valle Serra (Calabria).

Viaducto sobre el valle Serra, para el ferrocarril de Lagonegro a Castrovillari (Calabria).—Para vía de 0,95 m. y locomotoras de 3 ejes, de 12 toneladas, en rampa de 0,085 por metro (figura 248).

Siete arcos de 25,75 m. a 29,25 m. entre ejes de pilas, de 3,50 metros de grueso en los arranques. En el centro del viaducto se puso una pila-estribo de 5,05 m. de grueso.

Los arcos están formados por dos vigas curvas con armaduras flexibles, arriostradas en el intradós y trasdós por forjados de 0,20 m.

Nos parecen algo complicadas estas estructuras: preferimos concentrar la robustez en menor número de elementos (1).

Viaducto de Grandfrey (Suiza).—Hubo que substituir las pilas y tramos metálicos de este gran viaducto del ferrocarril de Ginebra a Berna; para realizarlo sin interrumpir la circulación muy intensa de esta línea, de doble vía, se envolvieron en hormigón las armaduras de las pilas que sostenían los tramos metálicos y se emplearon armaduras rígidas para los arcos de 42,30 metros de luz, montándose estas cerchas metálicas por debajo de los

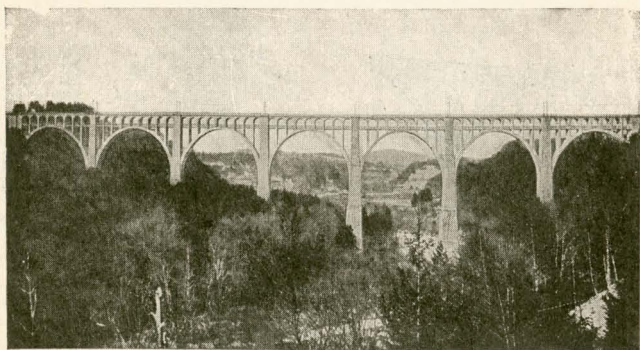


Fig. 259.—Viaducto de Grandfrey.

tramos viejos, para poder envolver aquéllas con los arcos de hormigón, sin desmontar los tramos y *sin necesidad de cimbras*, ya que los moldes de los arcos se suspendieron de las armaduras, como preconiza el autor (figs. 259 a 262).

Una vez endurecidos los arcos, se levantaron sobre ellos las

(1) Detalles en *Ponti in cemento armato*, de Santarella. Lámina 48.

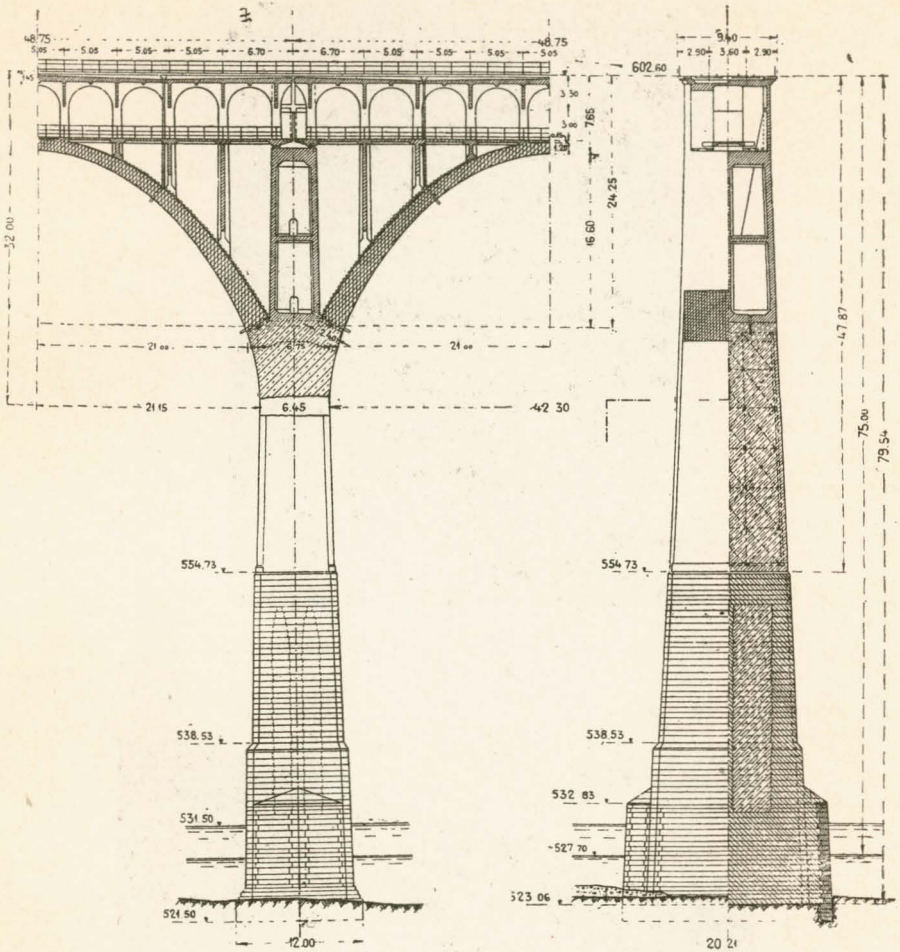


Fig. 260.—Secciones del viaducto de Grandtrey.

arcadas de tímpanos, de igual altura que las vigas de tramos metálicos, hasta que pudo sentarse una vía sobre la nueva plataforma de H. A. (1).

(1) Proyectado y dirigido por nuestro ilustre colega M. Bühler. Detalles, en un interesante artículo del profesor D. Domingo Mendizábal, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, pág. 200.



Fig. 261.—Armaduras rígidas para los arcos.

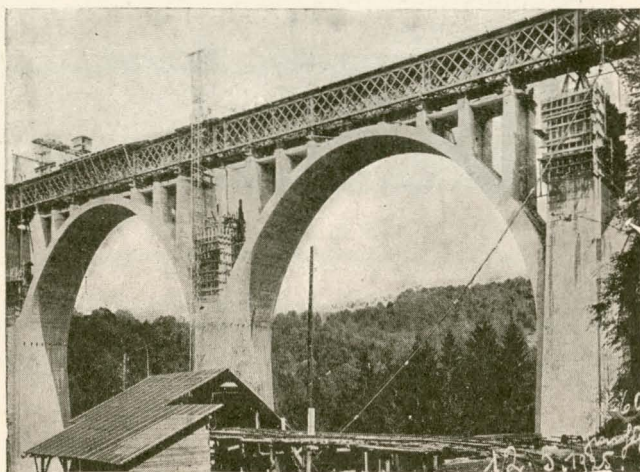


Fig. 262.—Construcción de los arcos y tímpanos antes de desmontarse los tramos metálicos.

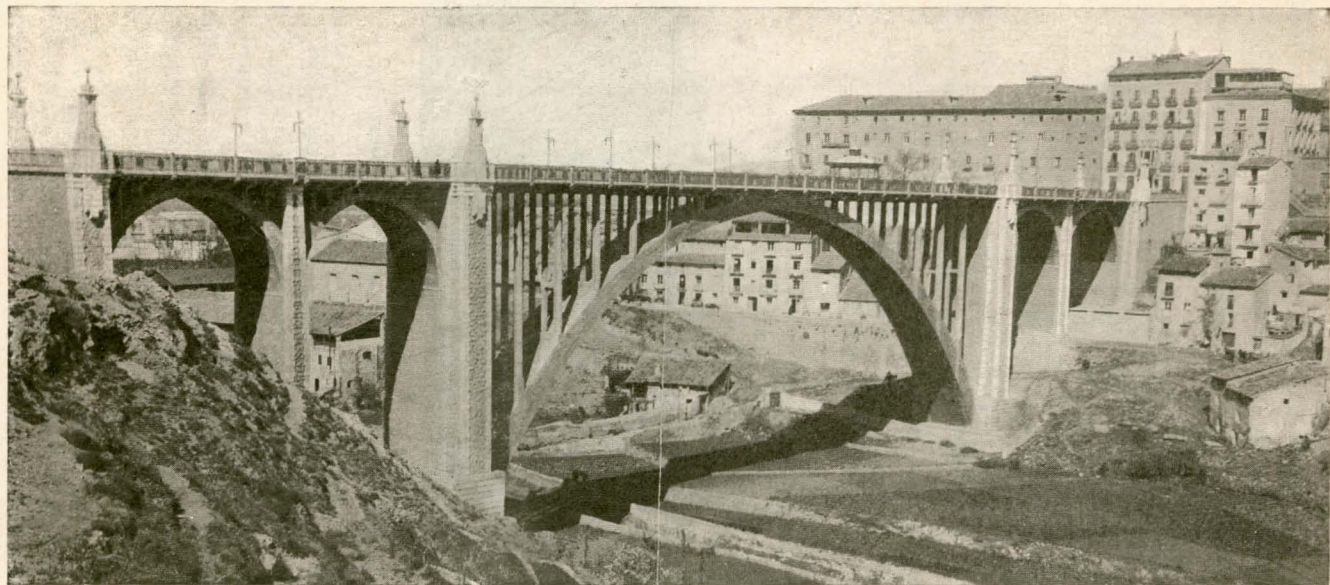


Fig. 263.—Viaducto de Teruel.

Viaducto de Teruel (fig. 263), para la carretera de Teruel a Sagunto.—Está compuesto por un arco central de 79 m. de luz, que *es el mayor de España*, y cuatro arcos laterales de 14,40 metros de luz.

Son todos los arcos continuos, con armaduras flexibles, que exigieron costosas cimbras; en los arcos se empotran palizadas de cuatro pilares que llegan a tener 18 m. de altura cerca de los arranques.

El tablero se apoya sobre los estribos por medio de aparatos de dilatación iguales a los empleados en los arcos metálicos. La decoración de este viaducto, que enlaza dos barrios de Teruel, es elegante, pero sobria. Es una obra que honra al autor de su proyecto, el ingeniero jefe D. Fernando Hué, que también inspeccionó su completa ejecución (1).

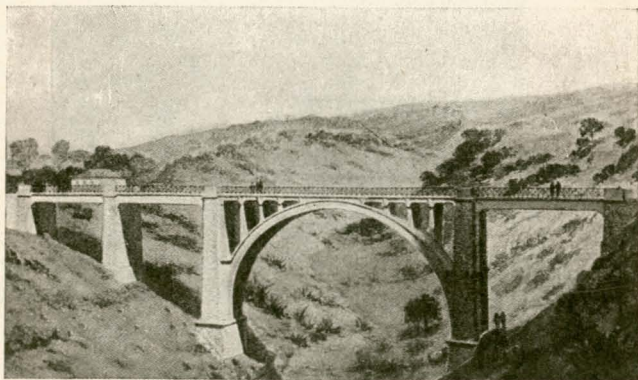


Fig. 264.—Viaducto de Barranco Hondo.

Con arcos y tramos rectos.—Es más frecuente el empleo simultáneo de arcos en su parte central y más honda y de tramos rectos en los costados de las laderas (fig. 264); disposición racional que también preconiza y emplea el autor y que se ha aplicado después en un gran número de viaductos, de los que presentamos algunos ejemplos.

(1) Que lo ha descrito con todo detalle y planos completos en la *Revista de Obras Públicas* de 15 de octubre de 1931. El constructor fué el ingeniero D. Mariano Luiña.

Viaducto de Barranco Hondo (Canarias) (figs. 264 y 265).—
Para la carretera de Santa Cruz a Orotava (isla de Tenerife).

Las armaduras del arco son rígidas y fueron las primeras en

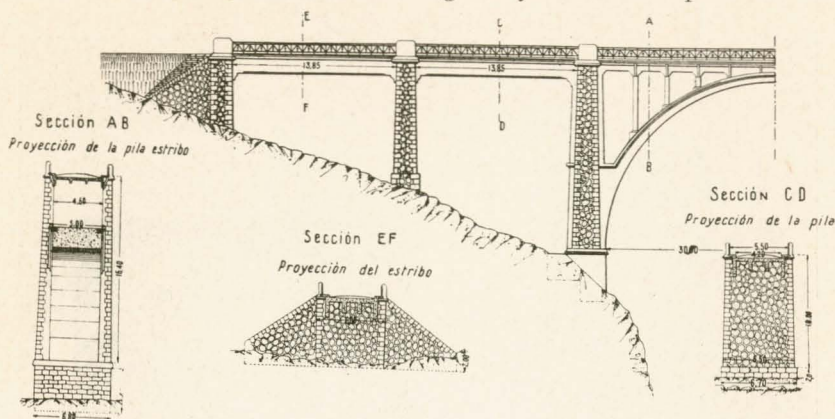


Fig. 265.—Viaducto de Barranco Hondo (Canarias).

que se constituyeron con cerchas armadas de angulares, montándose sin cimbras por trozos de 6 m., suspendidos y transportados por medio de cables (1).

Como corresponde al terreno, no tiene este viaducto más decoración que la silueta y sólo tiene mamposterías y hormigones.

Viaducto de Galcerán, en Santa Cruz de Tenerife (fig. 266).—
Comunica los barrios altos de aquella capital con la margen derecha del barranco de Galcerán. Tiene alguna visibilidad, por lo que se ornamentaron sus paramentos y barandillas, aunque moderadamente.

Se compone de tres tramos en arco de 36 m. de luz y 9 metros de flecha, y dos tramos rectos de 17,30 m. el uno y 10 m. el otro.

La disposición de arcos y armaduras es igual a la de los Modelos oficiales de puentes en arco para carreteras, es decir, con cerchas rígidas en los arcos; pero como el ancho entre baran-

(1) Se adjudicó esta obra al autor en 1906, mediante concurso internacional de proyectos y ejecución, a que nos referimos en el capítulo II.

dillas es de 13 m., se dividió la bóveda en tres arcos gemelos de 1 m. de anchura a 2,10 m. de distancia (1).

Podía haberse aumentado algo la flecha de sus tres arcos;

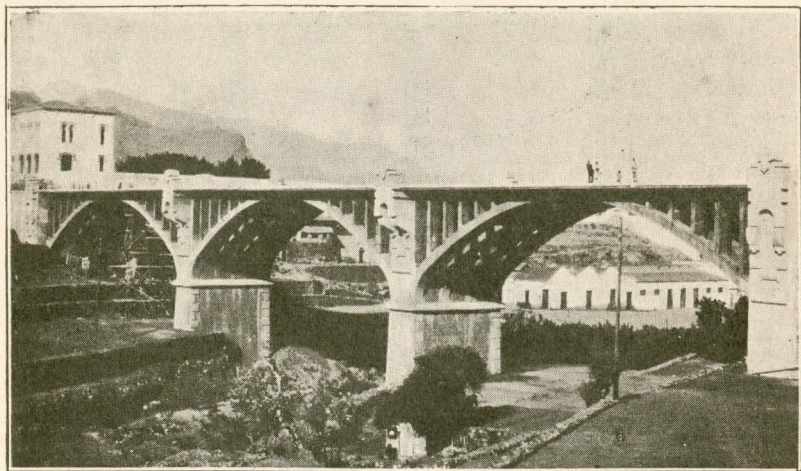


Fig. 266.—Viaducto de Galcerán (Tenerife).

pero se prefirió adoptar el rebajamiento de $1/4$ para substraer sus arranques a muy caudalosas turbionadas que a veces se acumulan en aquel barranco.

Viaductos de H. A. del ferrocarril de Alicante a Alcoy.—Se acaban de construir para esta línea numerosos viaductos, todos ellos de H. A., menos uno que, por necesitar solamente arcos de 12 m., se proyectó con bóvedas de hormigón en masa (2).

Se han adoptado distribuciones de luces diferentes, casi siempre con arcos, pero completados algunos con tramos rectos (fig. 267).

Citaremos los más importantes.

(1) Se adjudicó esta obra a la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles, mediante concurso de proyectos y ejecución. Lo inspeccionó el Arquitecto municipal Sr. Pintor.

(2) Todos proyectados por el ingeniero D. José Roselló, que sobre ellos escribió tres interesantes artículos en la *Revista de Obras Públicas* de 1929, páginas 349, 365 y 381, con detalles de su cálculo y construcción. En el capítulo IV damos cuenta de dos de ellos, que son arcos de 40 y 44 m. a estribos perdidos.

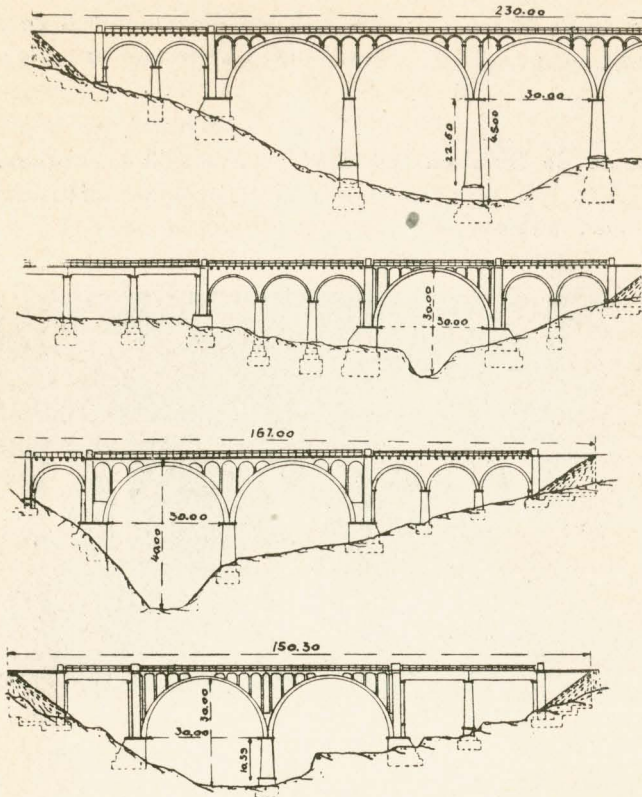


Fig. 267.—Viaductos del ferrocarril de Alicante a Alcoy.

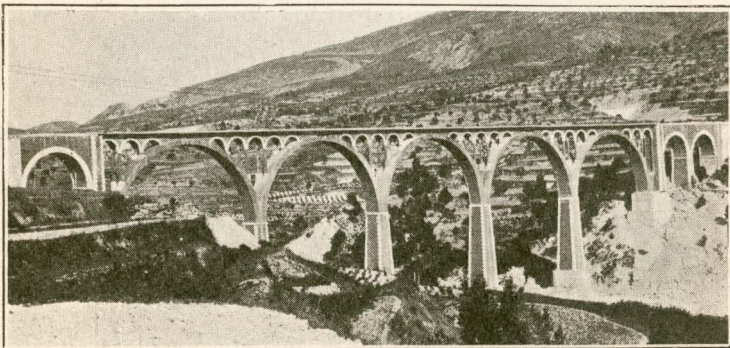


Fig. 268.—Viaducto de Polop.

Viaducto de Polop (fig. 268).—Tiene una longitud de 230 m., su rasante alcanza 46 m. y lleva cinco arcos de 30 m., con tímpanos de arquillos de 4 m.

Viaducto de Barchell (fig. 269).—Tiene 150 m. de longitud y arcos de 30 m. de luz; sus tímpanos están constituidos por palizadas dobles de H. A.

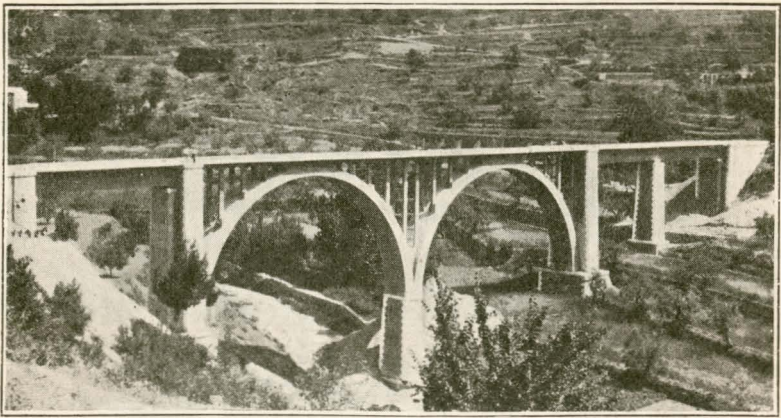


Fig. 269.—Viaducto de Barchell.

Las armaduras de los arcos son del tipo semi-rígido (figuras 270 a 272), descrito en el capítulo II.

Para tener en cuenta las dilataciones, en el viaducto de Po-

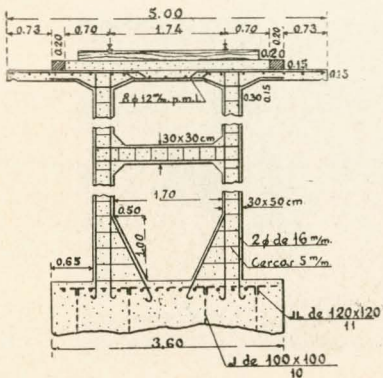


Fig. 270.—Sección transversal.

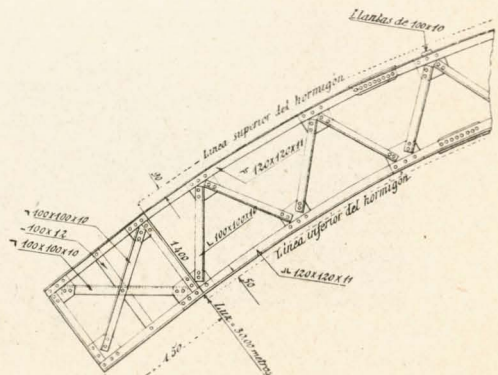


Fig. 271.—Cerchas de los arcos.

lop se ha cortado el tablero en todo su ancho, en los ejes de las pilas y en el centro de cada arco; como en los ejes de las pilas los largueros tienen forma de medio punto, trabajan como ménsulas y hubo que armarlos al efecto.

En los apoyos de los largueros y en los de las vigas rectas sobre los estribos de fábrica se han dispuesto chapas de plomo de 4 mm. de espesor. Con estas disposiciones parecen haberse anulado los efectos de la temperatura.

Viaducto en la villa de Alcoy.—Para una calle de la población. Tres arcos parabólicos de 47 m. de luz y 45 m. de altura, y tres tramos rectos en uno de los costados.

Terminado en 1928 (fig. 264).

Autor del proyecto: D. Carmelo Monzón; director de la construcción: D. Alfonso Peña; constructores: Erroz y San Martín. Las armaduras de los arcos son de aceros redondos, por lo

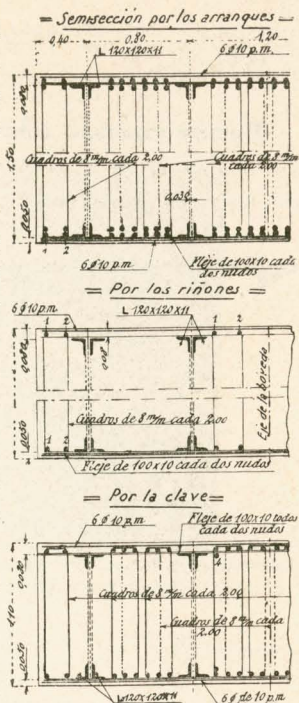


Fig. 272.—Secciones de arcos.

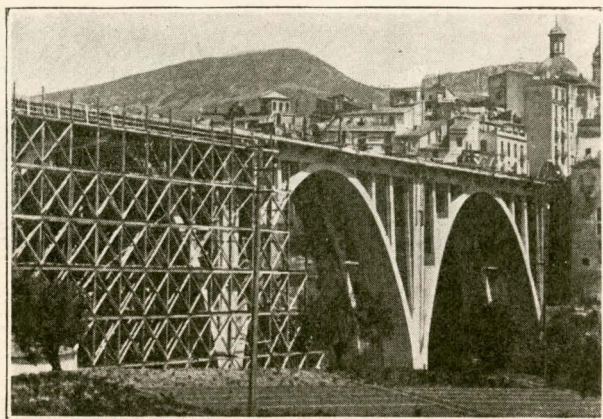


Fig. 273.—Viaducto en Alcoy.

que exigió importantes y costosas cimbras, que se aprecian en la foto (1).

Puente-viaducto sobre el río Chiusella (Italia) (fig. 274).—En las dos márgenes, viaductos de tramos rectos de 8 m., y sobre el río, un arco parabólico de 48 m. constituido con tres cerchas.

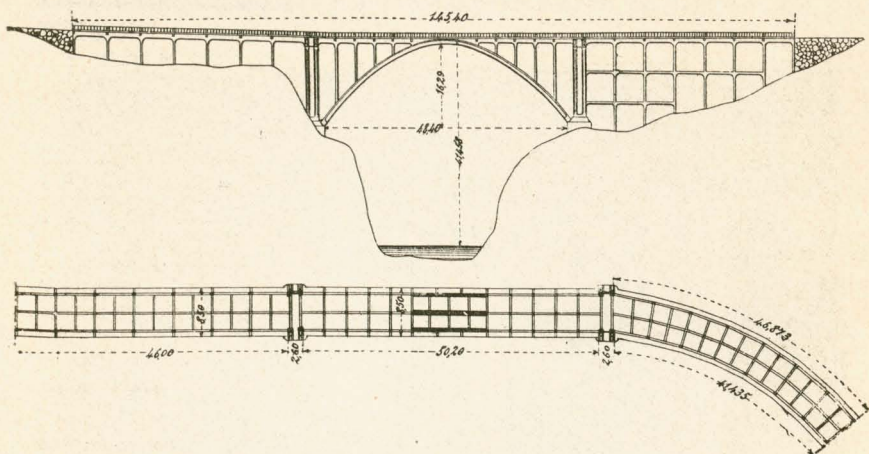


Fig. 274.—Viaducto sobre el río Chiusella (Italia).

Podía haberse reducido a 30 m. de luz el arco central. Sobre los estribos del arco las palizadas son dobles, para subdividir los efectos de dilatación.

Terminado en 1922 (2).

§ IV.—PASOS SUPERIORES Y PASARELAS

Pasos superiores.—El creciente tráfico automóvil obliga a la supresión de un gran número de pasos a nivel por medio de pasos superiores, que son pequeños viaductos.

Casi todos ellos se construyen hoy de H. A.

En el tomo I (fig. 233) dimos el detalle del tipo corriente que

(1) Detalles, en la *Revista de Obras Públicas* de 1927, pág. 3.

(2) Detalles, en *Il Cemento*, agosto de 1923. *Beton U. Eisen*, diciembre de 1923.

empleamos en España sobre las trincheras de vía única, con tres tramos rectos de 5 m. de luz, sobre dos palizadas también de H. A. (figura 275).

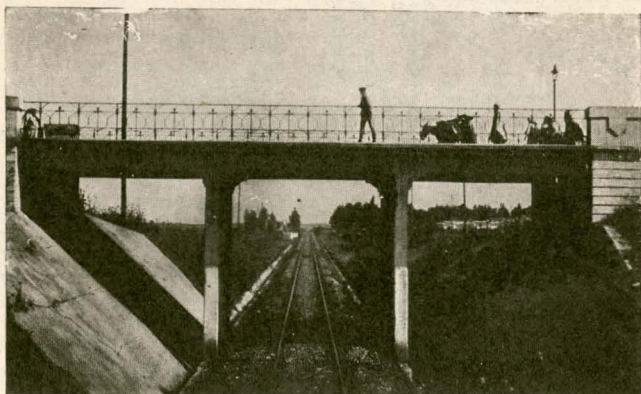


Fig. 275.—Paso superior al ferrocarril de Tánger a Fez.

Para doble vía se emplean análogas disposiciones de tramos rectos (fig. 276).

Pero también pueden emplearse arcos inferiores (fig. 277).

Las dimensiones de algunos de estos pasos superiores se indican en la figura 278.

Cuando se trata de atravesar estaciones con muchas vías, don-

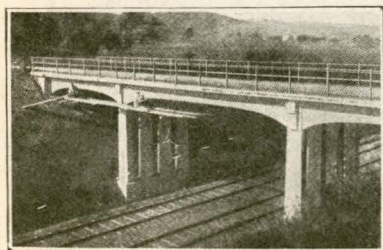


Fig. 276.

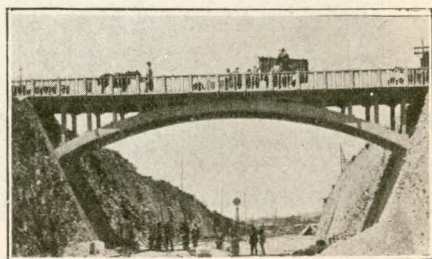


Fig. 277.—P. S. del ferrocarril de M. Z. A.

de convenga reducir el número de apoyos, en vez de pequeños tramos rectos, se emplean arcos superiores (figs. 279 y 280), o colgados, como en la estación de Laon (fig. 212), con los que pueden salvarse mayores luces.

En los pasos superiores sobre las estaciones, las locomotoras quedan paradas debajo de los tramos; el humo de las chimeneas puede ocasionar grietas, por las que los ácidos sulfurosos del humo atacan las armaduras y el cemento.

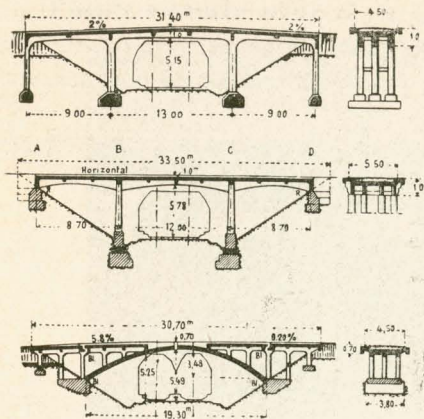


Fig. 278.

Suelen adoptarse las siguientes precauciones para evitarlo:

Aumentar de 2 a 5 cm. el espesor del hormigón que envuelve las armaduras: dar mucha compacidad al hormigón, y hasta en tramos muy expuestos a los humos emplear cementos fundidos.

La Compañía de Paris-Lyon-Mediterranéé, en sus pasos superiores inmediatos a estaciones, defiende los tableros de H. A. mediante unos cielos rasos de H. A. fijados a las cabezas inferiores de las viguetas.

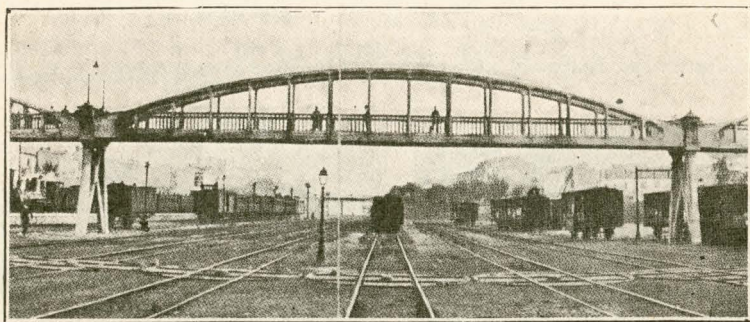


Fig. 279.—P. S. en estación francesa.

Pasarelas (1).—Aunque estos pequeños puentes, destinados exclusivamente al tránsito de peatones, se ejecutan algunas ve-

(1) Algunos Ingenieros las llaman impropriamente *pasaderas*, que son, según el *Diccionario*, "Cualquier cosa convenientemente colocada para que caminando sobre ella pueda atravesarse una corriente de agua."

ces sobre ríos, como vimos en el de Gerona (fig. 169), donde principalmente se emplean es sobre las estaciones o por encima de cualquier vía.

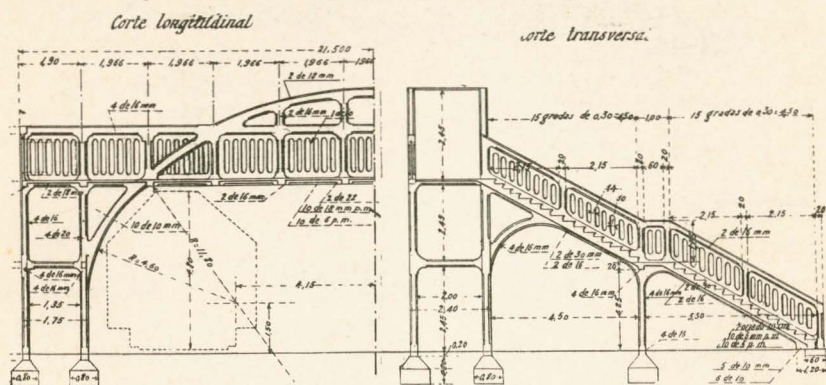


Fig. 280.—Pasarela en la estación de Ujo (Asturias).

Para evitar largas rampas, suele accederse a ellas por escaleras, como en las figuras 280 y 281.



Fig. 281.—Pasarela en Santander.

Como tipo original, presentamos una pasarela de 35 m. de luz, constituida por una sola viga aligerada (fig. 282).

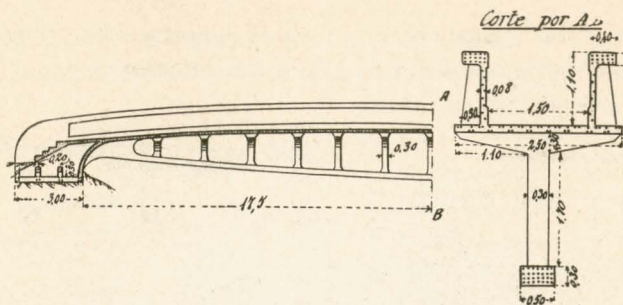


Fig. 282.—Pasarela sobre el Mus (Italia).

§ V.—CONCLUSIONES

Tanto y hasta aun más que en los puentes, cuando haya que proyectar viaductos deben tantearse multitud de soluciones.

Ya sea para carreteras de tercer orden o para ferrocarriles de vía ancha, los Modelos oficiales de tramos rectos y en arco que describimos en el capítulo III facilitan extraordinariamente el estudio comparativo de todas las soluciones.

Pero de los ejemplos que presentamos, y sobre todo de los viaductos recientemente construídos en España, pueden deducirse las conclusiones siguientes:

Menores luces que para los puentes.—También en el estudio de los viaductos, *los cimientos mandan*.

Los viaductos se construyen, o en valles sin ríos, generalmente en terrenos de aluvión, o en abruptas barrancadas, en terreno de roca, o por lo menos duro, con sus vaguadas de fuerte pendiente.

En ambos casos los cimientos de las pilas pueden ejecutarse en seco y no están sometidos a socavaciones; resultan, pues, más económicos que en los puentes.

En consecuencia, podrá aumentarse el número de los apoyos y reducir, por lo tanto, las luces de los tramos: de aquí una sensible economía a igualdad de longitud de obra.

Economía en las cimbras.—No habiendo ríos desaparece la contingencia de la destrucción de las cimbras por las crecidas; podrán

también ser más ligeras, y como la reducción de luces aumentará el número de tramos, se amortizará mejor su adquisición y mano de obra.

Distribución de luces.—Quizá más que en ninguna obra de fábrica deben proyectarse los viaductos a la medida del terreno.

Si el perfil es *trapezoidal*, como en A (fig. 283), puede convenir un solo tipo de arcos o tramos, sin ninguna pila-estribo.

Cuando el terreno es de forma triangular (fig. 283 - B), habrá que distribuir la longitud en varios tipos de arco o tramos.

Si hubiera río en la vaguada, convendrá quizá un arco grande (fig. 283 - C). En estos dos últimos casos deberán ser pilas-estribos los apoyos que separan los grupos distintos de arcos o tramos rectos.

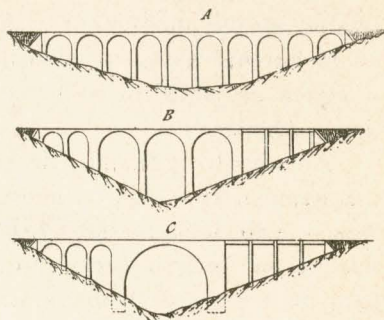


Fig. 283.

Elección de materiales.—Como en los puentes, para rasantes hasta 15 m. de altura, y si hay piedra buena y barata, pueden convenir las pilas y arcos de fábrica.

Pero para rasantes más altas, habrá que examinar las soluciones de hormigón armado, que hemos descrito, ya que será probable resulten más económicos en casi todos los casos.

Elección de tipos.—Generalizados los tramos rectos y los pilares de H. A., y desaparecida aquella fetichista devoción a las bóvedas, deben compararse sin prejuicios unas y otras disposiciones.

El autor, sin embargo, y como *indicación*, puede añadir que en sus numerosos proyectos ha observado que, en general, hasta unos 10 m. de luz, los arcos de mampostería u hormigón en masa son más baratos; entre 10 y 20 m. suelen convenir los tramos rectos de H. A.; entre 20 y 30 m. resultan quizá más económicos los arcos de hormigón en masa, y a partir de 30 m., los de hormigón armado. No son éstas, claro está, reglas precisas; pero servirán como orientación para los anteproyectos.

Ni decoración, ni grandes arcos.—Por último, en estos viaductos, que no suelen ser vistos, ni por los viajeros que circulan sobre ellos, no deben los ingenieros preocuparse de su aspecto, menos aun de su ornamentación; tampoco deben perseguir la realización de grandes arcos, si no fueran inevitables; los viaductos, como los túneles, como un dique o una presa, son obras industriales, no son monumentos; no debe preocuparse el ingeniero de su lucimiento artístico, sino de su conciencia profesional, que le obliga a proponer la solución más económica, dentro de la moderna técnica.

Por cuanto acabamos de exponer, vemos que no puede haber inconvenientes serios en aplicar a los viaductos los tipos de tramos y palizadas rectas, a semejanza de las obras similares de madera en América, siempre que se prevean disposiciones prácticas para los efectos de temperaturas, se comprueben a saciedad las dimensiones—que no deben escatimarse—y se exija una perfecta ejecución.