

## El Consejo de Obras públicas

El Consejo de Obras públicas ha muerto a mano airada. La *Gaceta* de 10 del corriente mes publica un Decreto, refrendado por el ministro de Obras públicas, D. Indalecio Prieto, disolviéndolo, para crear en su lugar unos cuantos pequeños Consejos independientes, en relación directa con el ministro y los directores generales.

Como oración fúnebre al venerable Consejo sólo se dice que "no cabe desconocer los grandes servicios que al interés nacional ha prestado el Consejo de Obras públicas", sin especificarlos, añadiendo a continuación, para justificar el atentado, que dichos grandes servicios "hubieran sido mayores si, libre de minucias impropias de su alta función, hubiera podido dedicarse de modo exclusivo a problemas de gran envergadura y netamente técnicos, en vez de consagrar energías y tiempo a consultas insignificantes y a cuestiones de personal ajenas a su esencial cometido".

Bien merece el suprimido Consejo de Obras públicas algo más que las palabras banales que el señor Prieto le dedica en el preámbulo de su último Decreto.

De haber hecho mención siquiera a su brillante historia técnica y administrativa, hubiera de haber destacado en primer término su indiscutible austeridad. Cuantas personas y entidades se han puesto en el transcurso de cerca de un siglo en contacto con el alto Cuerpo consultivo de Obras públicas de la nación han podido comprobar que en independencia, rectitud, amor al trabajo y competencia ningún otro organismo oficial le ha igualado. No merecía morir el primero, si ha llegado la última hora de los Cuerpos consultivos.

Los ministros y los directores generales de Fomento no han tenido otra garantía ni otro freno que los nacidos de estas excelsas cualidades del Consejo de Obras públicas.

Los Negociados técnicoadministrativos, de acuerdo con dichos altos funcionarios, que la política hacía arribar al Ministerio de Fomento, remitían cómodamente todos los expedientes, hasta los más insignificantes, como dice el preámbulo que comentamos, al Consejo. Por eso se les ha llamado en la jerga administrativa Negociados *al* y *con*, porque no hacían más, en general, que remitir los asuntos *al* Consejo y resolverlos *con* el Consejo.

Tan ímproba labor la soportaban los venerables inspectores de Caminos con estoica resignación.

Nunca se ha ambicionado por los ingenieros de nuestra especialidad el llegar a la alta categoría de consejero e inspector, porque sabían que era una carga grande la que echaban sobre sus cansados hombros, lo que ni siquiera estaba compensado con una remuneración decorosa, a pesar de lo cual, todos venían a Madrid a cumplir los ingratos deberes que la terminación de la carrera administrativa les imponía. Sólo tenía un encanto esta incorporación al Consejo de Obras públicas: el que se volvieran a reunir en las postrimerías de la vida aquellos que, respetados por la muerte, habían hecho juntos sus estudios en la Escuela Especial del Cuerpo. Cargados de años y de experiencia, podían recordar las primeras ilusiones de la juventud, después de una larga vida consagrada al ejercicio de la profesión que eligieron unánimes.

El Consejo, en realidad, no desaparece del todo, sino que se fracciona en tantos como Direcciones generales se han creado, siguiendo la política, equivocada, de dividir las Obras públicas en compartimientos estancos o sin más comunicación que la del ministro, que, en general, como ahora ocurre, es un político ajeno a la técnica que domina en su Departamento.

Es tan íntima la relación que existe entre puertos, ferrocarriles, caminos ordinarios y obras hidráulicas, que no cabe resolver los problemas de gran envergadura a que alude la disposición que censuramos sin la integración de los problemas parciales que se irán planteando en los Consejos especializados que ahora se crean, y que antes estudiaban e informaban las cuatro secciones del Consejo de idéntica denominación que las Direcciones generales creadas; pero, rota la unidad, van a faltar las reuniones más importantes del Consejo de Obras públicas, que eran los plenos, en los que se lograba esa indispensable coordinación de los grandes problemas de obras públicas.

Que este Consejo, como todos los análogos, necesitaba reformas, es indudable, y han sido los ingenieros de Caminos los que constantemente las han venido pidiendo; pero hubieran querido que las modificaciones reclamadas las dictara quien no hubiera dicho desde el día que tomó posesión del Ministerio que no quería que le asfixiara el Cuerpo de Caminos, pues, a pesar de que se ha visto obligado a declarar en las Cortes que no es enemigo de dicho Cuerpo, los actos, más elocuentes que las palabras, demuestran lo contrario.

---

## Teoría del arco<sup>1</sup>

### VII

#### Lo intuitivo

Este artículo debiera haber precedido a los cuatro anteriores, para desarrollar la ordenación: intuición,

experiencia, cálculo, establecida en el primero; pero ha resultado más eficaz abordar el tema desde lo experimental, pues así hemos conseguido un conocimiento directo e íntimo de la estructura.

Ha aparecido el arco en construcciones que cumplían tres funciones diferentes: puentes, presas y cubiertas. En todas ellas, y especialmente en las dos

<sup>1</sup> Véase la REVISTA de 1.º de enero último, página 3.

primeras, el arco no procede de la función, antes, por el contrario, resulta en cierto modo opuesto a ella, ya que en ambos casos se trata de realizar un plano, horizontal en el camino que soporta el puente y vertical en el cerramiento a realizar por la presa; por consiguiente, parece antinatural voltear un arco, que



Fig. 1. Puente del Lomo del Camello. Japón

en el primer caso aloma el camino, y en el segundo resta una parte de su volumen al embalse.

De las dos condiciones a cumplir por la estructura: dimensiones geométricas y esfuerzos a vencer, la forma arco surge de la segunda, y muchas veces en oposición a la primera; de aquí, por ejemplo, que en los puentes el arco necesite el complemento del tablero, pues pocas veces se obtendrá la armonía funcional-estructural lograda en el que reproduce la figura 1. La forma arco no es pura geometría, sino forma estructural, pudiendo ocurrir, por consiguiente, que no haya coincidencia entre lo estructural y lo geométrico, y a la inversa; así en la figura 2 aparece un puente en arco, mientras que a la forma *bow-string* le corresponde casi siempre ser viga recta.

Mecánicamente se explica perfectamente el arco, por la presencia de esfuerzos transversales a los de actuación directa; así, el movimiento curvilíneo procede de esfuerzos normales a los directores del movimiento, la flecha se dispara del arco perpendicularmente a la distensión de la cuerda, y a la actuación de esfuerzos horizontales corresponde el plegamiento de los estratos del geosinclinal.

Concretándonos al arco como estructura, encontra-

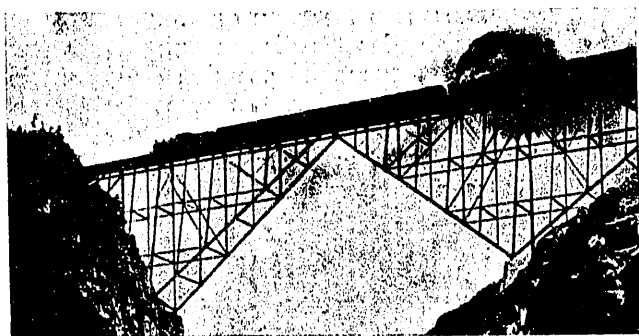


Fig. 2. Fowler. 1900.—White Pass, 122 m

mos dos intuiciones fundamentales, que lo caracterizan, y que aparecen claramente expresadas en las construcciones de sillería y en las metálicas, respectivamente. La primera es el efecto cuña—creación de fuerzas normales a las actuantes—, materializado en la descomposición en dovelas y exaltado en la clave,

“piedra que sostiene la construcción por la resistencia que opone de todos lados”. Se comprende que, graduando la inclinación de las dovelas sucesivas, se pueda llegar a encauzar los esfuerzos en el núcleo de la estructura.

La segunda intuición procede de considerar el arco, como forma contraria a la que se produce en la flexión de una pieza recta. En ésta, al aumentar la concavidad se camina hacia la rotura; lo contrario ocurrirá en el arco, que vuelve su convexidad hacia los esfuerzos.

Estos dos modos de ver trabajar la estructura se corresponden, respectivamente, con los dos elementos de cálculo que caracterizan el arco: compresión longitudinal y momento flector. El esfuerzo cortante sólo aparece en el cálculo de arcos muy rebajados, y, efectivamente, sólo en estos casos resulta angustioso el adovelado.

En el juego de acciones y reacciones, que es lo estructural, el arco realiza la tensión de compresión pura; es decir, proporciona su masa para que se verifique la anulación de esfuerzos por enfrentamiento directo de acción y reacción. Cada trozo de arco se opone a ser penetrado por el inmediato; la anulación de tensiones contrarias se verifica sin desgarramiento del material; a no ser por efecto Poissons, el arco puro nunca se rompería; realiza la esencia mecánica de la convexidad.

Si analizamos el modo de trabajar la pieza que



Fig. 3. Líneas isostáticas en una viga recta, obtenidas por fotoelasticidad

salva una cierta luz, mediante el estudio de las curvas isostáticas\* (procedimiento el más perfecto de que actualmente dispone la teoría), partiendo de la forma más sencilla, pieza prismática recta, nos encontramos con la distribución que aparece en la figura 3. Considerando las de compresión, también denominadas trayectorias de los esfuerzos, vemos que presentan su convexidad hacia arriba, seccionando la pieza en una serie de elementos en arco, a través de los cuales se transmiten las compresiones. Interpretando esta tendencia, al recortar por las isostáticas, obtendremos la forma arco, pero habrá que arriostar los extremos entre sí para materializar las tensiones de tracción existentes en el contorno que resulta al ahuecar la parte inferior. Por consiguiente, encontramos las dos características de la estructura arco en forma y sustentación, obteniendo así una transmisión de esfuerzos, en imagen dinámica, sin remansos ni remolinos, o sea estáticamente, la materia en actividad plena, realizando lo que expresa el viejo proverbio indio: *El arco nunca duerme*.

Esta interpretación del arco no es puramente teórica: se corresponde con hechos reales; así, los empujes sobre una construcción subterránea se limitan

\* Es inexplicable por qué no se da más importancia al estudio de la resistencia de las estructuras mediante las curvas isostáticas. Es el modo más completo de analizar las condiciones de trabajo, y, además, en hormigón armado tiene la ventaja de expresar directamente las direcciones para colocación de hierros y la situación más conveniente de las juntas de construcción.

por la formación de un arco que desvía las presiones de su dintorno (fig. 4); este mismo arco se tiene muy en cuenta en las construcciones de albañilería. Una presa recta de corta longitud transmite presio-

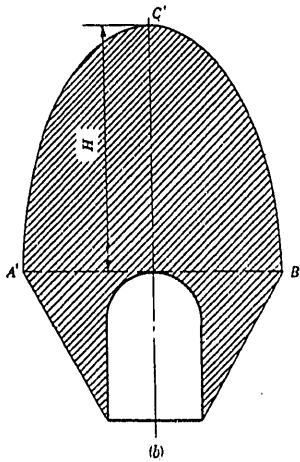


Fig. 4. Arco interior de descarga en un túnel

nes a las laderas por formación de arco interior, horizontal cuando las laderas son verticales, vertical cuando las laderas son inclinadas (fig. 5). Y hasta en el caso de que dispongamos la estructura con for-

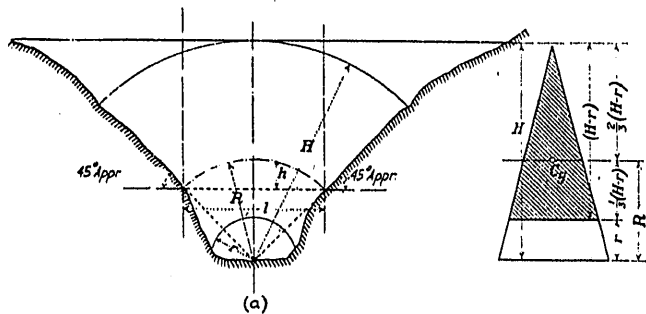


Fig. 5. Arco interior vertical en una presa recta

ma curva, el arco resistente puede ser distinto del geométrico, como ocurre en los arcos gruesos de la parte inferior de las presas bóvedas (fig. 6).

Resumiendo, las dos notas que caracterizan el arco

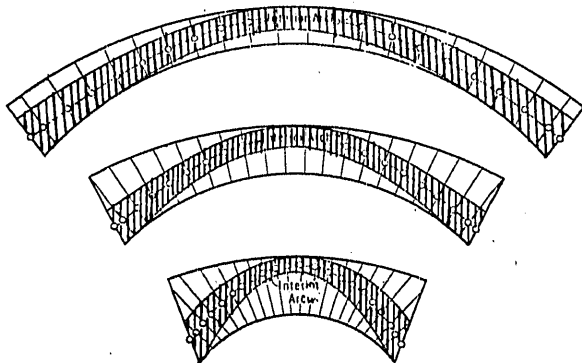


Fig. 6. Arcos interiores, considerados a diferentes alturas, de una presa-bóveda

son: forma convexa a los esfuerzos exteriores y sustentación restringida. Atendiendo a la primera, los arcos se clasifican en: medio punto, elípticos, etc., o antifuniculares de los esfuerzos permanentes, etc., y atendiendo a la segunda, en: de tres, dos o una ar-

ticulación, empotrados, con tirante y elásticamente sustentados.

En la figura 7 aparece la comparación entre una viga curva y un arco de dos articulaciones de la misma luz, que resisten, bajo idénticas tensiones máximas, la misma carga, uniformemente repartida.

Históricamente, el arco proviene de la necesidad de cubrir un espacio con materiales de dimensión me-

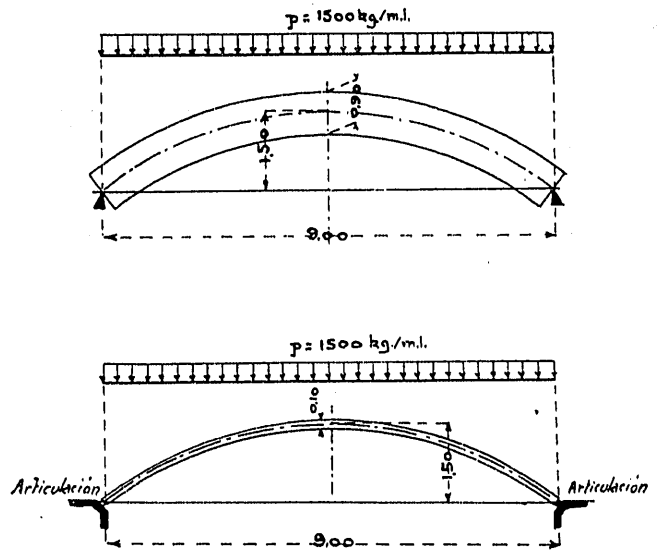


Fig. 7. Comparación entre el arco de dos articulaciones y la viga curva

nor que la luz a salvar. Pero esta solución de síntesis es una forma tardía, pues el problema se resolvió primero aplicando el principio del dintel y superponiendo los sillares cortos en salientes sucesivos desde ambos extremos. Así, en el palacio de Osmandias, en Abydos (2 500 a. de J.-C.); en el templo de Ammon-Ra, en Tebas (1 756 a. de J.-C.); en la pirámi-

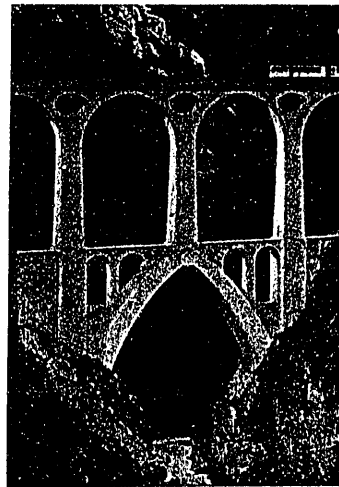


Fig. 8. Ojiva del viaducto de Fontpedrouse

de de Ghizé, en las murallas ciclópeas y tesoros de Micenas y Tirinto, en las construcciones primitivas de Méjico, etc.

Los primeros arcos son de medio punto, que es la forma geométrica más sencilla, apareciendo luego la ojiva, el arco de herradura, etc. Entre todas estas formas, las distintas civilizaciones han utilizado aquellas que, además de servir técnicamente al problema cons-

tructivo, tenían una significación en su repertorio de formas culturales. Así la ojiva, que mecánicamente supone un empuje vertical en el vértice\*, sirve al problema de cubrir naves y proporciona un modo expresivo al anhelo de ascensionalidad gótico. Ampliando esta tesis de Worringer al arco de herradura, arco equilibrado mecánicamente (sin empuje horizontal), se explica la adopción del mismo por los árabes, satisfaciendo a su necesidad de calma e intrascendencia.

Vamos a examinar rápidamente la evolución del concepto del arco en las tres construcciones más interesantes para el ingeniero: puentes, presas y cubiertas.

### Puentes en arco

En los puentes de sillería podemos seguir la evolución histórica del arco: medio punto en los romanos, con ejemplares interesantes a partir del siglo II a. de J.-C., y record de 34 m en el de Narni; en la Edad Media continúa el medio punto, apareciendo el ojival a partir del siglo XII, llegándose a una luz de 72 m en Trezzo (1370), hoy desaparecido, subsistiendo como record el de Ceret, con 45 m; el Renacimiento aporta los arcos rebajados elípticos, de circunferencia o en asa de cesta. Hasta aquí son conceptos geométricos los que im-

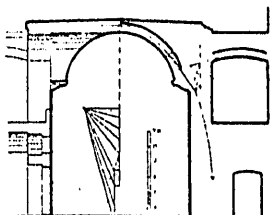
\* La ojiva, como solución puramente mecánica, se presenta en el viaducto de Fontpedrouse, respondiendo a la transmisión de esfuerzos en clave.



Esta necesidad mecánica de un peso en el vértice la sintieron también los constructores del puente del Diablo, de Martorell, colocando (según hace observar muy atinadamente Sejourné) la

pequeña capilla, que aquieta el conjunto.

En la utilización del arco en las construcciones clásicas se descubren intuiciones sorprendentes del sentido mecánico de esta estructura. Así, en la cubierta de basilica romana que reproducimos, con la comprobación de presiones hecha por el ingeniero Giovanoni, y en el arbotante de catedral gótica estudiado por Sejourné, al lado del cual aparece la curva de cargas de la que es antifunicular, y que se corresponde perfectamente con los pesos de los distintos elementos.



Un ejemplar muy interesante es el arco de Ctesifón, construido en 550 por el rey sasánida Cósroes I. Tiene una luz de 26 metros, y la clave a una altura de 30 sobre el suelo, con un espesor de 2,80 m; todo él de ladrillo cocido.

El arco, verdaderamente, arranca a una altura de 12 m sobre el suelo; pero se continúan las hiladas horizontales hasta 8 metros por encima, habiendo conseguido, de este modo, reducir la luz a unos 20 metros.

A partir de este nivel, el arco se compone de anillos hasta un espesor de 1,50 m, trasdosándose con ladrillos colocados transversalmente; lo que hace suponer que se ejecutó sin cimbra.

Otra comprobación notable es la llevada a cabo por La Hire en la cúpula de San Pedro, que resultó tener una directriz muy próxima a la antifunicular de los esfuerzos.



peran: el arco nace de una curva con expresión geométrica definida.

Una visión netamente ingenieril se debe a Perronet (1720-1777), que construye trece puentes y proyecta ocho más, con relaciones de vanos a pilas muy afinadas y rebajamientos extraordinarios, llegando en el de Nemours (construido en 1805) a 1/15 en arcos de circunferencia. Su obra más importante es el puente de la Concordia, en París, con cinco arcos de 29 m rebajados al 1/8. Además de constructor, Perronet es un teorizador, y, por consideraciones que pudiéramos calificar de homólogas a las actuales de Freyssinet, establece la posibilidad en aquella época de puentes de 150 m de luz.

Con Sejourné se llega al perfeccionamiento completo de los arcos de sillería; su obra *Les grandes voûtes* es clásica, y sus puentes de Antoinette, Luxemburgo, etc., son modelos definitivos. Sienta como principio: *On fait une voûte d'après les voûtes faites; c'est affaire d'expérience.*

Por consiguiente, el problema de un arco de sillería ha llegado a ser mera reproducción de experiencias anteriores; el método de cálculo característico es el de comprobación debido a Mery, inmediatamente basado en la experiencia bajo su aspecto más tosco y angustioso: la rotura.

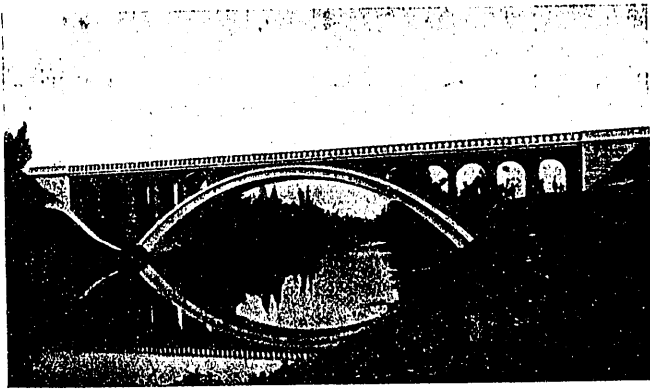
Aunque en los últimos tiempos se aplicaran a los arcos de sillería métodos de cálculo basados en la teoría de la elasticidad, ésta no entra de lleno hasta la utilización del hormigón para ejecución de las bóvedas, respondiendo así el método de cálculo al material, pues se pasa de la comprobación de juntas en la sillería a la continuidad del arco elástico en el hormigón.

También existe esta correspondencia material-método de cálculo en los puentes metálicos, para los que es clásica la aplicación de la estática gráfica, que reproduce en las figuras de esfuerzos y deformaciones el entrecruzamiento de barras de la triangulación del entramado.

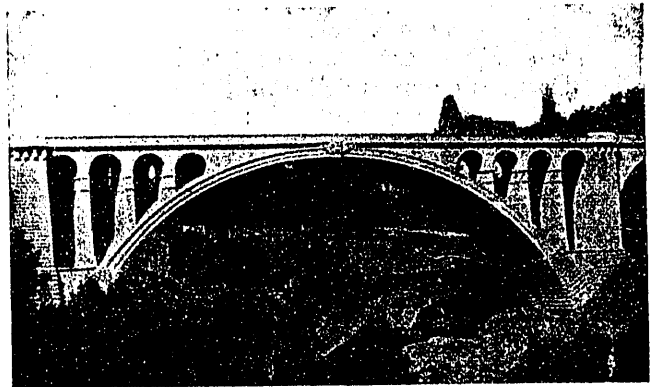
Los puentes metálicos aparecen en Inglaterra a fines del siglo XVIII—Colebrook (1776), Buildwas y River Wear (1796)—, y en seguida pasan a Francia, llevados por Napoleón I, para superar a los ingleses, construyendo: Pont-des-Arts (1799), Austerlitz (primitivo, 1806), etc. Napoleón III continuó la tradición con: Alma (1854-1857), Austerlitz (1855), Solferino (1857), etc.

Los arcos metálicos se desarrollan rápidamente en el período de actividad de la construcción ferroviaria. Hoy día, aunque los de hormigón armado van avanzando, todavía les queda la hegemonía de las grandes luces, que se reparten con los otros dos tipos: cantilevers y puentes colgados.

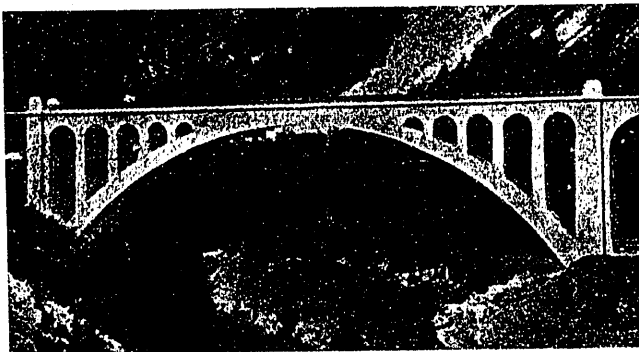
El hormigón armado no aporta nuevas soluciones en cuanto al arco en sí (pues como se trata de una estructura trabajando a compresión, el hormigón o la sillería le permiten realizar todas sus posibilidades), pero resuelve tres problemas importantes: realización de la estructura integral arco-tablero (lo que teóricamente supone un tipo de estructura más perfecta); realización de la estructura evolutiva, mediante el empleo de armadura rígida, que sirve de cimbra para la ejecución del hormigón, cumpliendo, por tanto, desde el comienzo su misión, que es resistir a los esfuerzos; y predeterminación del estado inicial del régimen de tensiones, influyendo en la vida



*Sejourné. 1884.—Antoinette, 50 m*



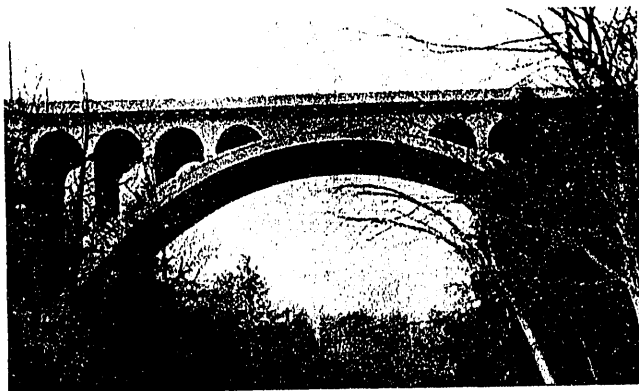
*Sejourné. 1903.—Luxemburgo, 81 m*



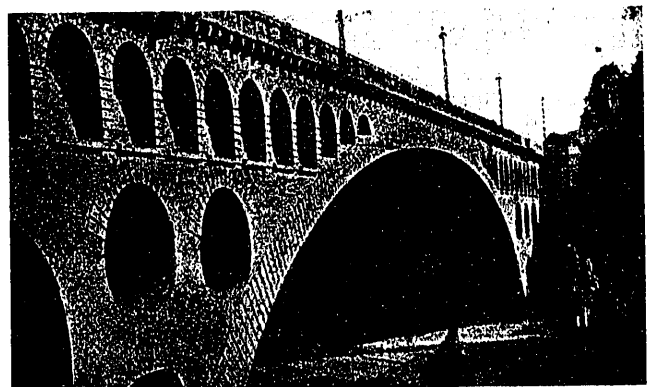
*Austria. 1906.—Salcano, 85 m*



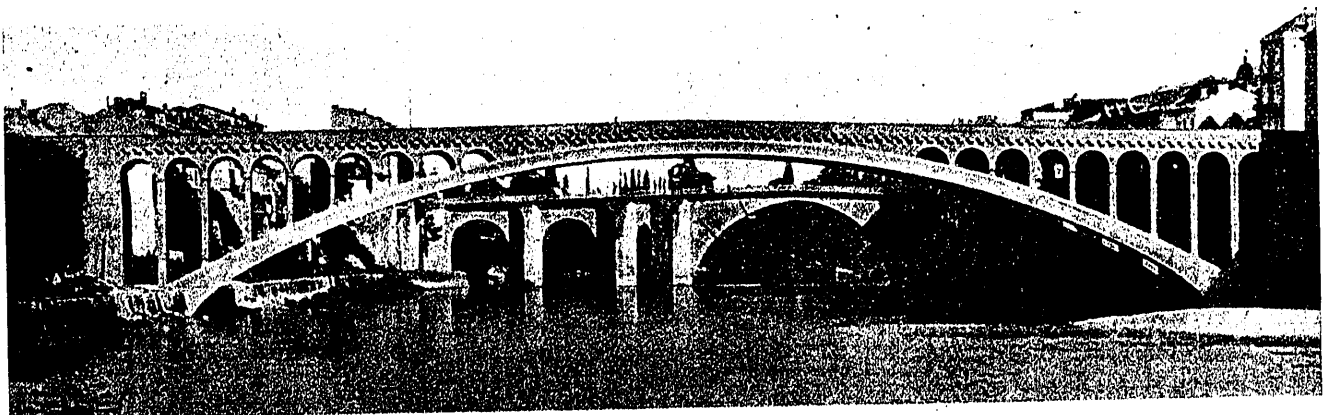
*Maillart. 1929.—Lorraine, 82 m*



*EE. UU. 1909.—Rocky River, 85 m*



*Alemania. 1905.—Plauen, 90 m*



*Freyssinet. 1919.—Villeneuve sur Lot, 96,25 m*

definitiva de la estructura por intervención, mediante deformaciones sistemáticas.

Estos dos procedimientos constructivos pertenecen a los dos tipos de arcos de hormigón armado que actualmente están en competencia: el preconizado por Melan, Ribera, etc., con fuerte armadura longitudinal, y el adoptado por Freyssinet, con armadura insignificante y transversal. Éste ingeniero establece la posibilidad actual de arcos hasta de 1 500 m. de luz, más económicos que las soluciones metálicas.

De las normas geométricas en el proyecto de un arco se ha pasado a las normas mecánicas, dando a éste su verdadera significación al considerarlo antifunicular de las cargas en la parte más característica que puede tenerse en cuenta (carga permanente o car-

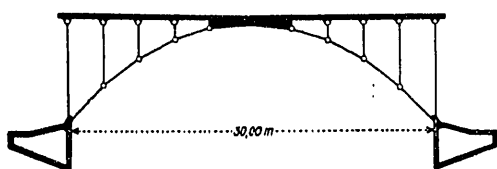


Fig. 9. Esquema estructural del puente Landquart

ga permanente más mitad de sobrecarga), habiendo llegado incluso a considerarlo como contrafigura del puente colgado—es decir, arco a compresión pura y tablero a flexión—en algunos puentes proyectados por Maillart (fig. 9). Sin embargo, ha habido un período de estancamiento en la parábola de segundo grado, con variación de inercia proporcional a  $\cos \alpha$ ; pero no merece la pena pasar de la forma a la fórmula, de la geometría al álgebra; hay que llegar a la mecánica. Así, hoy, la deducción gráfica de la curva antifunicular o la ampliación de la ecuación de la parábola a términos de tercer grado—Maning—o de cuarto grado—Melan, López Rodríguez—, o la consideración de la catenaria—Strassner, Whitney—, todos ellos con variación de la inercia linealmente con la abscisa.

En el aspecto del puente se aprecia la evolución hacia la estructuración de lo funcional: se empieza por yuxtaponer al arco los tímpanos llenos y rellenos; después se comienza a aligerar (apuntan ya los aligeramientos en puentes romanos) longitudinal y transversalmente, llegando a destacar el arco exento. Se simplifica la bóveda, reduciéndola a arcos gemelos<sup>1</sup>, solución definitiva de Sejourné, y, por último, se llega a la estructura integral en los puentes de hormigón armado.

### Presas-arcos

La intuición tan inmediata y natural del efecto arco, hace que cuando no se tiene una visión ingenieril del problema, resulte satisfactorio el arquear en planta cualquier presa. Por esto, casi todas las construidas primitivamente son en arco, y a ello deben muchas—situadas en valles estrechos—su existencia, ya que, por gravedad, no soportarían la presión del agua.

<sup>1</sup> Según indica el mismo Sejourné, el procedimiento de construcción en anillos es muy antiguo; lo emplearon los romanos, pero disponiendo los anillos adyacentes—Pont-du-Gard, Avignon, etcétera—; en la Edad Media aparece en el puente de Airvault, sobre el Thouet, en Francia; Perronet lo utilizó en el puente de Sainte-Maxence, sobre el Oise. En España tenemos un ejemplar del siglo XVIII en el río Güell (Gerona).

Entre éstas citaremos nuestras magníficas de Almanza (1586) y Elche (1579-1594).

Este criterio primitivo se infiltró en la visión técnica, pues hasta hace poco tiempo era norma corriente proyectar una presa como resistiendo exclusivamente por gravedad, y después adoptar planta curva cóncava hacia aguas abajo, creyendo así mejorar sus condiciones de resistencia. Pero un estudio atento del problema demuestra, por lo pronto, que para que pueda lograrse efecto arco es preciso que la relación del ancho del cauce a la altura de la presa no pase de un cierto límite. Cuando éste se traspasa, el arqueamiento no introduce ninguna ventaja, pudiendo ser que perjudique, según la opinión de algunos ingenieros, habiéndose llegado incluso a proponer como más adecuada la curvatura cóncava hacia aguas arriba. (Lambert, 1931.)

La presa-arco, vista ingenierilmente, aparece en Norteamérica (1883), construyéndose en 1884 la importante de Bear Valley, surgiendo poco después las de arcos múltiples: Belubula (Nueva Gales del Sur, 1898), Lago Hume (1908), segunda Bear Valley (1910).

Al principio, en el proyecto de la presa se consideraba únicamente su forma arco y se calculaban como una superposición de anillos, mediante la sencilla fórmula de los tubos, teniendo en cuenta, para fijar las tensiones admisibles, un elevado factor de seguridad.

Por la fórmula  $T = pr$  se calcularon unas cuantas presas; pero después, sin abandonar la visión de la estructura, como exclusivamente integrada por arcos, se perfeccionó el método, deduciéndose fórmulas de cálculo por un análisis más exacto de las condiciones

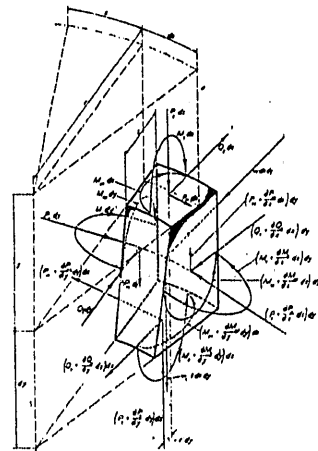
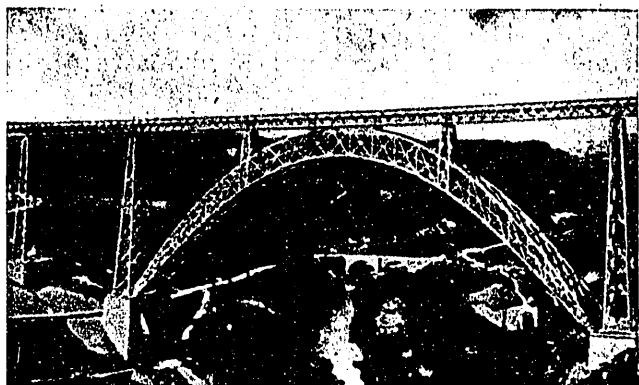


Fig. 10

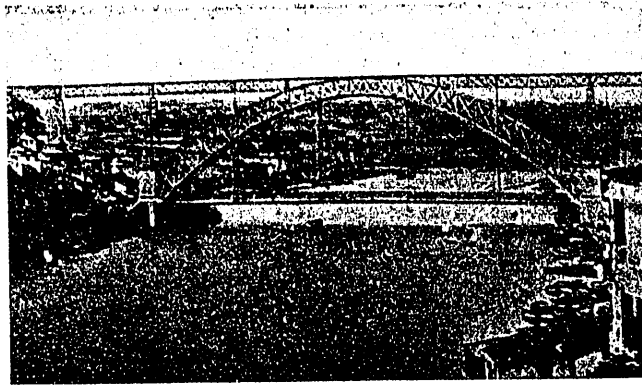
de trabajo en los arcos gruesos. Así aparecieron las clásicas fórmulas de Cain, en las que se tiene en cuenta: que la presión del agua se reparte en el trasdós del arco, que la fibra neutra no es el arco central y que tienen importancia las deformaciones debidas a las tensiones tangenciales y normales.

También se consideró en el estudio de los arcos gruesos la formación del arco interior, llegando a conclusiones Resal (1919), Mensch y Cain (1921) y Jakobsen (1926).

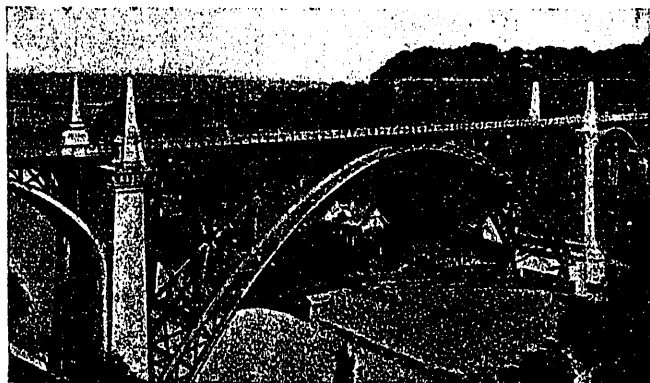
Esta visión de las presas a través de los tubos, llevó a construir las con radio constante, por lo que, debido a la disminución del ancho del valle, en las zonas inferiores perdían el carácter de bóveda. La corrección de este defecto condujo a Jakobsen, en 1915, a



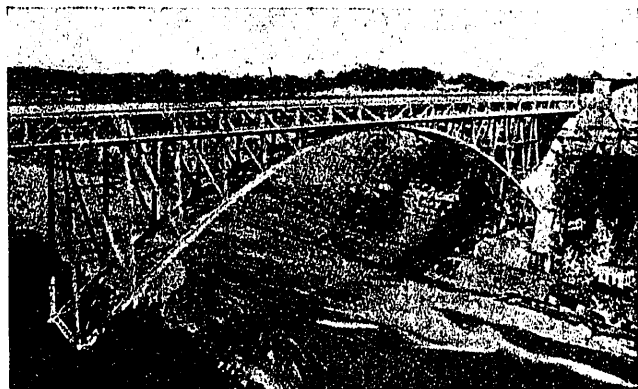
*Eiffel.* 1885.—Garabit, 165 m



*Eiffel.*—Luts I, 180 m



*Arthur.* 1898.—Kornhaus, 115 m



*Fowler.*—Niagara Falls R. w., 167 m



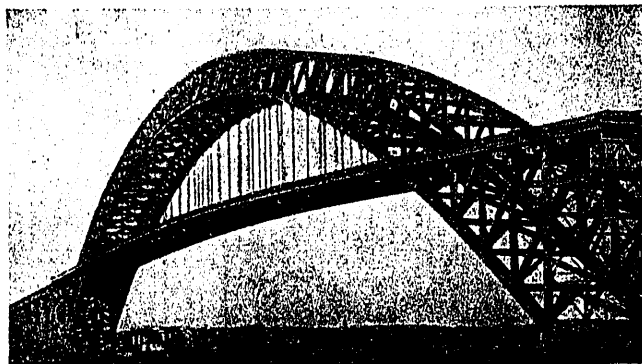
*Krohn.* 1899.—Bonn, 187 m



*Lindenthal.* 1915.—Hell Gate, 310 m



*Bradfield.* 1931.—Sydney, 501 m



*Amann.* 1931.—Kill van Kull, 504 m

las presas de ángulo constante, y fundándose también en la teoría de los tubos, dedujo que el ángulo más conveniente para obtener un efecto arco eficaz no debía ser inferior a  $135^\circ$ .

Realmente, esta condición de ángulo constante no posee ninguna virtud especial; la eficacia del tipo Ja-

contiene las claves de aquéllos. Stucky, en el proyecto de La Jogne, toma cuatro arcos y cinco muros, considerando en ambos elementos sólo las deformaciones radiales horizontales.

La extraordinaria dificultad que presenta el problema, al abordarlo en toda su complejidad, ha llevado a varios ingenieros a resolverlo racionalmente, adaptando previamente la estructura al método de cálculo vigente. Así tenemos las siguientes soluciones:

División de la presa en anillos horizontales, obtenidos cortando la estructura con interposición de junta asfáltica y chapa de cobre de impermeabilización. De este modo se puede aplicar a la estructura, con toda validez, la fórmula de los arcos delgados. Fué propuesta por Peña en 1927 y

realizada en la presa de Isber (1930).

División de la presa en cilindros verticales de espesor constante y reducido, de tal manera, que permita la aplicación de las fórmulas de tubos delgados. Este tipo tiene la desventaja, respecto al anterior, de no suprimir la indeterminación debida al efecto muro. Pertenecen a él las presas compensadas, en las que los cilindros forman presas independientes, de altura escalonada, con carga de agua sucesivamente decreciente, cuyo tipo fué propuesto por Boulé en 1894, por Rutenberg en 1912 y, modernamente, por Mesnager, para la presa de Dordogne. También el tipo Noetzly (1930), en el que los cilindros sucesivos son adyacentes, estando únicamente separados por una delgada capa de asfalto, sin presión hidráulica.

Materialización de un número limitado de arcos y muros en una presa de pantalla curva, reforzada por anillos horizontales y contrafuertes radiales, propuesto primeramente por Guidi en 1926.

Sin embargo, la idea del complejo arco-muro ha llegado a desarrollarse casi por completo en el método que los norteamericanos denominan "Trial Load", gracias, principalmente, a los esfuerzos de la United States Bureau of Reclamation y al Arch Dam Committee of Engineering Foundation. Estos organismos, forzados por la importancia económica de la utilización de las presas-bóvedas, se lanzaron a un estudio integral mediante investigaciones teóricas y experimentales (la importancia de estas últimas pue-

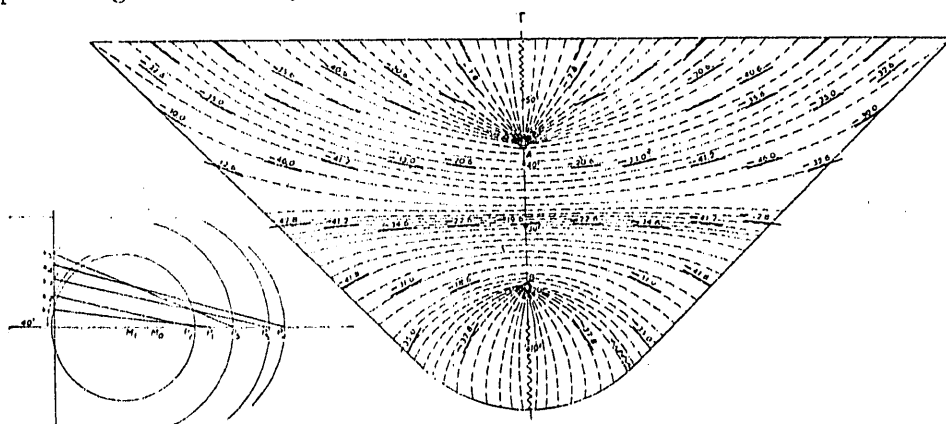


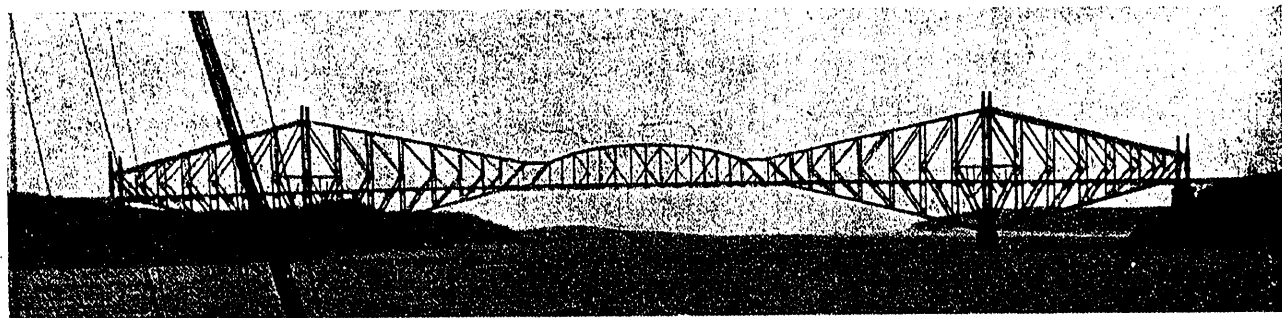
Fig. 11. Isostáticas deducidas en las experiencias de la presa Stevenson Creek.

kobsen reside, como hemos visto, en que el ángulo no debe bajar de un cierto límite, por lo que las presas se proyectan modernamente de modo a cumplir esta simple condición, obteniéndose en los anillos superiores ángulos buenos, que disminuyen a medida que descendemos, para no romper la continuidad geométrica y evitar que los últimos anillos queden colgados.

Un avance decisivo en la teoría de presas-bóvedas fué considerar, además del efecto arco—es decir, transmisión horizontal de presiones a las laderas—, el efecto muro, o sea el correspondiente a la resistencia de la estructura, transmitiendo las presiones verticalmente al fondo del valle. Por consiguiente, la presa queda desintegrada en dos sistemas virtuales de infinitos arcos y muros, a través de los cuales se transmite la presión del agua a la superficie total de apoyo: laderas y fondo.

Esta idea es muy antigua; la propusieron los norteamericanos Wagoner y Vischer en 1889, y fué utilizada por Harrison y Woodard en 1904; pero quien la puso definitivamente en circulación fué Ritter, en 1914, siendo recogida en método de cálculo por Resal, en Francia (1919); Stucky, en Suiza (1922), y Noetzly, en América (1921).

Estos métodos de cálculo simplifican extraordinariamente el problema, empezando por prescindir de la interacción arco muro y considerar un número limitado de estructuras virtuales. Así Noetzly considera varios arcos horizontales y un solo muro, que

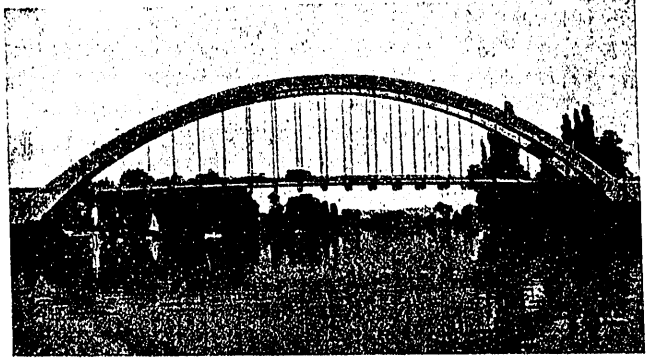


Viaducto de Quebec, 540 m. —Record de luz en cantilever

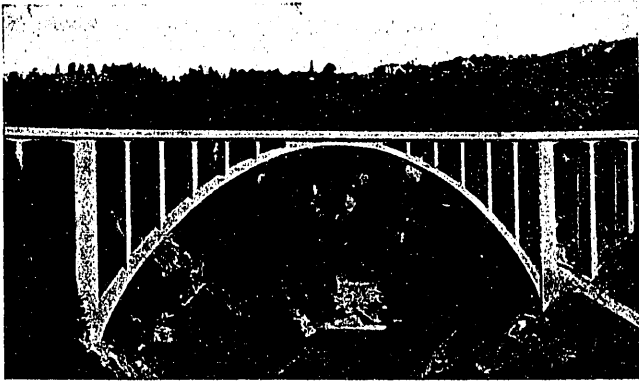




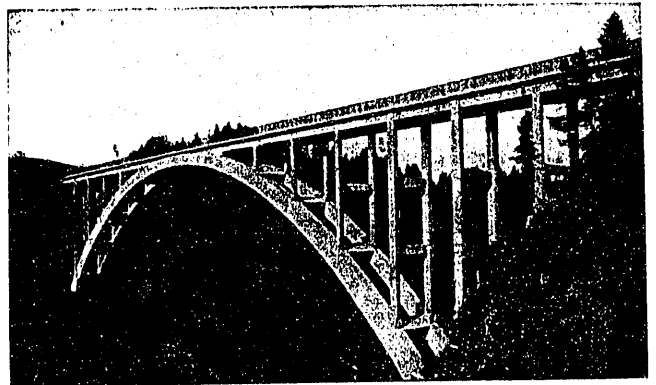
*Emperger.*—Scharsteiner, 58 m



*Freyssinet.* 1923.—Saint Pierre Vaurray, 131,90 m



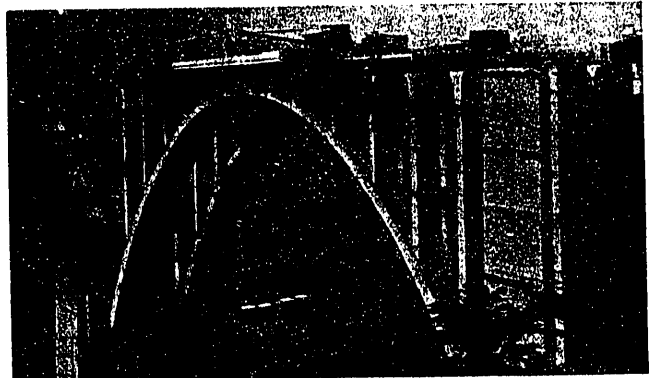
*Suiza.* 1925.—Urnäsch, 105 m



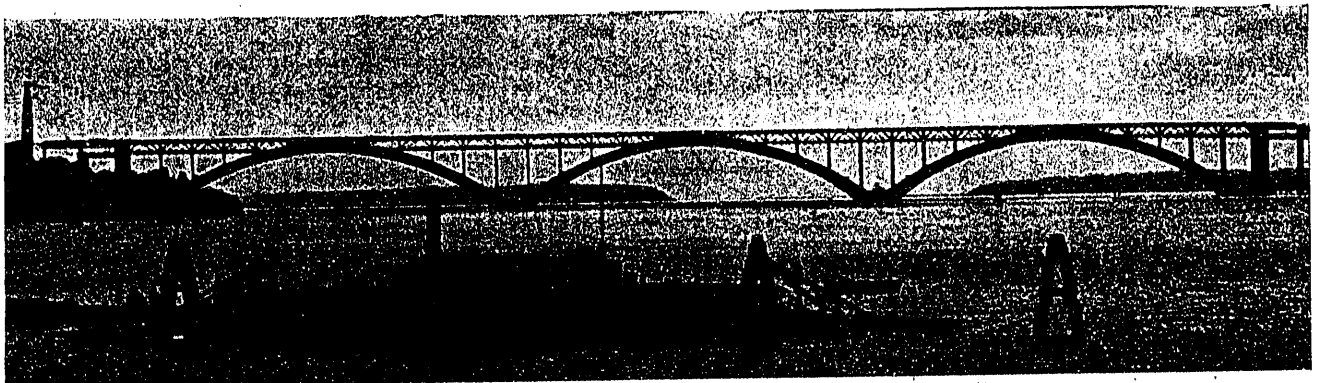
*Spannenberg.* 1930.—Esselbach, 130 m



*Cacquot.* 1929.—La Caille, 139,80 m



*EE. UU.* 1932.—George Westinghouse, 140 m



*Freyssinet.* 1931.—Plougastel, 3 × 187,60 m

**ARCOS DE HORMIGON ARMADO**

de apreciarse en nuestro artículo anterior: "Experiencias en presas arco")

El caso concreto de la presa Hoover ha hecho que el método alcance su perfección teórica. Por sucesivos avances se ha llegado a la reproducción macroscópica del punto de partida microscópico de la teoría de la elasticidad. El equilibrio de tensiones en un paralelepípedo infinitamente pequeño tiene su correlato en el equilibrio de esfuerzos en el trozo común arco-muro. Así, refiriéndonos a la figura 10 (de la Memoria de Westergaard, director de los Estudios analíticos), se consideran como esfuerzos actuantes en los sistemas virtuales, además de los momentos flectores en arcos y muros ( $M_x$  y  $M_y$ ) y los esfuerzos cortantes tangenciales ( $Q_x$  y  $Q_y$ ), que eran los únicos que en los primeros tiempos se tenían en cuenta, los esfuerzos longitudinales en arcos y muros ( $P_x$ ,  $P_y$ ), torsión de los muros ( $M_{yx}$ ), efecto Poissons arco-muro, esfuerzos tangenciales entre anillos sucesivos ( $P_{yx}$ ), esfuerzos tangenciales entre muros inmediatos ( $P_{xy}$ ), distribución no lineal de las tensiones, saturación del

RIBERA: *Los grandes viaductos.*

— *Puentes de fábrica y hormigón armado*, t. IV. Madrid, 1932.

BRITISH PORTLAND C. A.: *Concrete Bridges*. Londres, 1928.

SANTARELLA: *Ponti italiani in cemento armato*. Milán, 1932.

CARDELLACH: *Filosofía de las estructuras*. Barcelona, 1910.

WORRINGER: *La esencia del estilo gótico*. Madrid, 1925.

GÓMEZ NAVARRO Y ARACIL: *Salto de agua y presas de embalse*, t. II. Madrid, 1932.

#### ARTICULOS DE REVISTAS

SANTARELLA: *La arquitectura de los puentes italianos de hormigón armado*.—Memoria presentada al II Congreso Internacional de Puentes. Viena.

HARTMANN: *Estética de los puentes*.—Idem.

LINTON: *El arte de construir puentes*.—Idem.

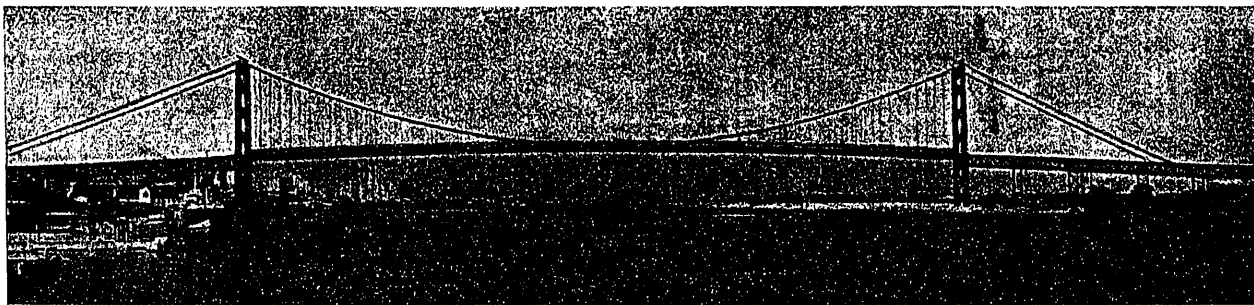
SPANGENBERG: *Puentes en arco de grandes luces*.—Idem.

LOSSIER: *Grandes puentes de hormigón armado*.—Idem.

FREYSSINET: *Possibilité de la substitution des voûtes en béton aux ouvrages métalliques de tout nature pour la réalisation de très grandes portées*.—Memoria presentada al Primer Congreso del Hormigón y Hormigón armado. Lieja.

MAILLART: *Note sur les ponts-voûtes en Suisse*.—Idem.

CAMPUS: *La fibre moyenne des grandes voûtes hyperstatiques*. Idem.



Puente George Washington, 1 067 m.—Record de luz en tramo colgado

hormigón en el paramento aguas arriba, retracción y plasticidad del hormigón, deformación de cimientos y paredes laterales debidas al empuje de la estructura y deformaciones en el terreno del fondo y laderas por presión directa del agua.

La prueba más concluyente del valor de este método es que se aplica para calcular la estructura de la obra "más grandiosa del siglo actual", que en la serie de presas arco construidas representa una extrapolación, duplicando casi la máxima altura recientemente conseguida.

Carlos FERNANDEZ CASADO  
Ingeniero de C., C. y P.

#### BIBLIOGRAFIA

ZÜCKER: *Die Brücken*. Berlín, 1921.

HARTMANN: *Asthetik in Brückenbau*. Viena, 1928.

FOWLER: *The Ideals of Engineering Architecture*. Londres, 1929.

RUKWIED: *Brückenästhetik*. Berlín, 1933.

GIOVANNI: *La tecnica della costruzioni romane a volta*.—*Annali di Lavori Pubblici*, mayo 1930, pág. 561.

— *Circa il nuovo ponte sul Tevere a monte di Ponte Milvio*.—*L'Ingegnere*, julio 1931.

RIBERA: *Evolución decorativa de los puentes en el siglo XX*. REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2.573.

LINDAU: *The Semicircular Masonry Arch*.—Paper n.º 1086 of Transactions Am. S. C. E.

GRIMM: *The Arch Principle in Engineering and Esthetic Aspects*.—Paper n.º 1185 of Transactions Am. S. C. E.

F. MORENO: *La antigüedad de la construcción de puentes con bóvedas gemelas*.—REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

LAMBERT: *Gravity Dams Arched Downstream*.—*Proceedings of Am. S. C. E.*, marzo 1931.

JAKOBSEN: *The Constant-Angle Arched Dam*.—*Transaction of American Society of Civil Engin.*, 1916.

PEÑA: *Solución racional al problema de presas-bóvedas*. REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2.476.

NOETZLY: *Laminated Arch Dam with Forked Abutments*.—*Proceeding Am. S. C. E.*, febrero 1930.

WESTERGAARD: *Theoretical Analysis of the Structural Action of the Stevenson Creek Arch Dam*.—*Proceedings Am. S. C. E.*, mayo 1928, parte III.

## La economía española y la hiperemia hidráulica en las obras públicas

Las obras hidráulicas se multiplican y toman cada vez un desarrollo mayor. Tienen, sin embargo, limitaciones de diversa índole, que es interesante examinar, descollando entre ellas las relacionadas con la economía y equilibrio político de España.

En Hidrología, se consideran terrenos áridos aquellos en que el riego es necesario para asegurar la regularidad de las cosechas e indispensable para ciertos cultivos, y zona húmeda, la que, por la relativa abundancia de las precipitaciones acuosas, per-