

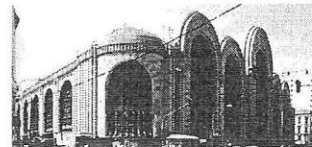
capítulo 4 del libro:

Temas de ESTRUCTURAS ESPECIALES

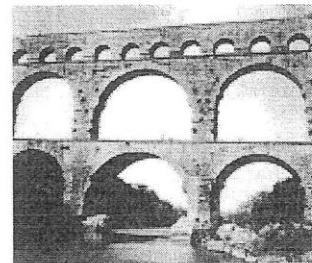
Arq. Pedro Perles - Editorial Klisckowski



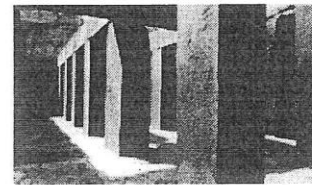
Estación Constitución
Buenos Aires



Mercado del Abasto
Buenos Aires



Pont du Gard
Nîmes



Templo de Kefrén
Egipto

Estación Retiro
Buenos Aires

ESTRUCTURAS DE COMPRESIÓN DOMINANTE

EVOLUCION HISTORICA

Se denominan así porque, a diferencia de las estructuras de tracción, que sólo soportan esta solicitación, los arcos, además de compresión suelen estar sometidos a otros tipos de esfuerzos, normalmente flexión, aunque quien prevalece es la compresión. Para ello es imprescindible que **la Resultante de todas las fuerzas actuantes se encuentre dentro del Núcleo central de la sección del arco, lo que se conoce como flexocompresión con pequeña excentricidad.**

Es el tipo estructural que acompañó el desarrollo de los principales estilos arquitectónicos desde Roma hasta nuestros días, siendo por ello interesante realizar un análisis de su evolución histórica para entender cual fue su influencia y cuales sus propiedades distintivas.

Si la arquitectura surge de satisfacer las necesidades de una sociedad, con los recursos que ésta le brinda, es lógico que la misma se modifique, porque las sociedades, necesidades y recursos también cambian.

Estos cambios se reflejan incluso en el sistema resistente del edificio, LA ESTRUCTURA; por ello, para analizar las modificaciones que se producen en uno de los elementos que la componen, EL ARCO, es necesario comprender cómo los seres humanos, a lo largo de la historia, encontraron diferentes soluciones a un mismo problema: la perpetuidad y estabilidad de las obras.

Para los griegos, el hombre era la medida de todas las cosas; este se sostenía parado perpendicular al suelo y así lograba el equilibrio porque existía una reacción igual y contraria al peso del cuerpo.

Con este criterio, colocando 2 piezas verticales y sobre ellas una pieza horizontal, el conjunto se hallaba en equilibrio. Empero, si la distancia aumentaba, la pieza horizontal no resistía la tracción inferior debida a la flexión, es decir, las características pétreas del material condicionaba el proyecto. Este sistema utilizado se lo denominó TRILITICO, de limitado alcance en cuanto a las luces a cubrir. (Fig.1 a y b)

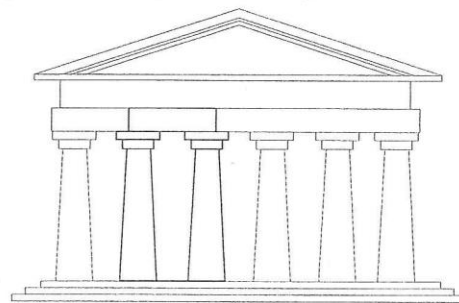
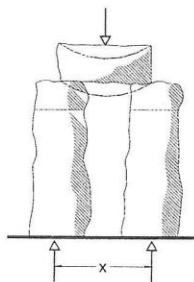


Fig. 1 a

Hasta ese momento la arquitectura se limitaba a establecer la relación de un volumen con el exterior, los edificios griegos eran para contemplar desde afuera, el interior no cumplía una función.

Pero durante la época romana, el edificio comienza a ser vivido desde el interior, existen funciones, es habitado por mucha gente. El sistema trilitico no resultaba apropiado pues al no tener capacidad para cubrir grandes luces tampoco podía generar espacios de grandes dimensiones. Es por ello que los romanos desarrollaron los sistemas en arco, dado que disponían de una tecnología adecuada para su materialización.



Fig. 1 b: Vista del Partenón griego, Acrópolis de Atenas.

Comenzaron con la utilización de un sistema de dovelas hasta que al comprobar la consistencia que adquiría la argamasa al fraguar, lo utilizaron como vertido sustituyendo los adovelamientos, lo que permitió simplificar y abaratar sensiblemente su construcción, ya que encofrar y verter sobre encofrados de madera resultaba mucho más simple y económico que trazar y tallar dovelas, y además, permitía obtener una terminación más precisa.

Para el desencofrado utilizaron a menudo una capa de ladrillos vistos, o bien, la aplicación de asfaltos o aceites a fin de evitar la adherencia. (Fig.2a y 2b)

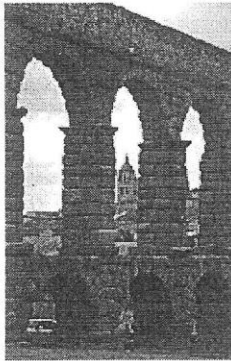


Fig. 2a: Acueducto de Segovia, España.

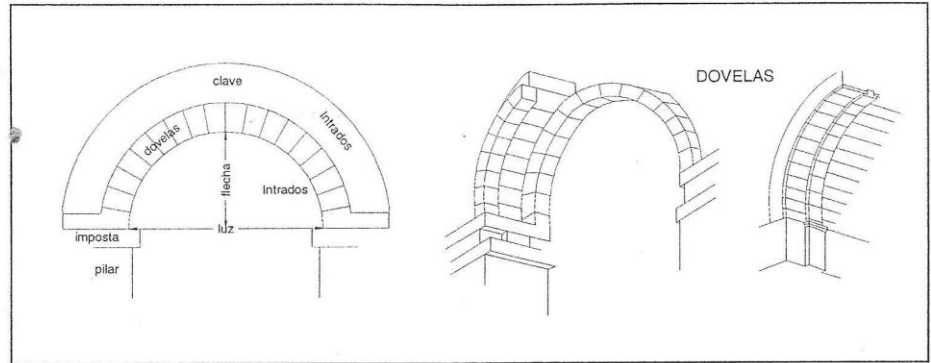


Fig. 2b

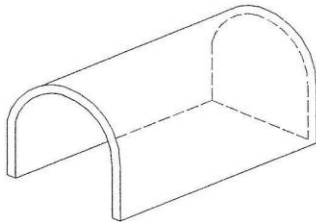


Fig. 3a: Bóveda de cañón corrido

Esta tipología evolucionó naturalmente con la bóveda de cañón corrido, que logra un espacio único de dimensiones mayores al trilitico, y puede considerarse como una sucesión de arcos de medio punto colocados uno a continuación del otro y apoyados en toda su longitud en muros de gran espesor que perjudicaba al sistema de comunicación si el edificio estaba cubierto por más de una bóveda. (Fig. 3 a y b).

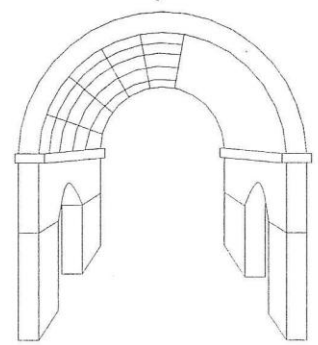


Fig. 3b: Romanos.

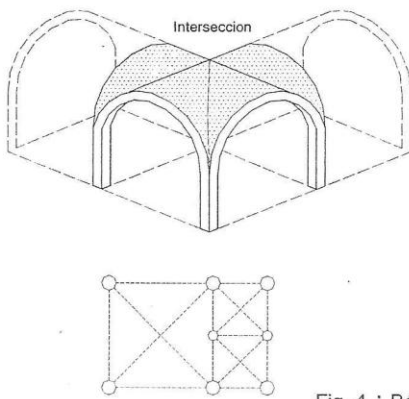


Fig. 4a: Bóveda de Arista. Planta.

Para solucionar este problema, los romanos idearon la bóveda de aristas, que se obtiene por la intersección de 2 bóvedas de cañón corrido. La bóveda de aristas, cuya única condición es que tenga planta cuadrada, se convierte en el módulo espacial determinante de la arquitectura romana. (Fig. 4 a y b)

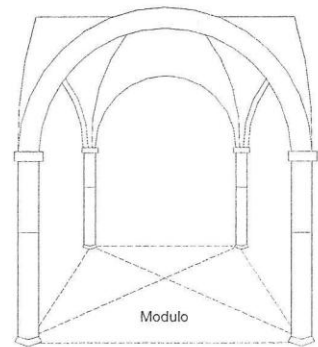


Fig. 4b: Bóveda de Arista. Modulo.

Este esquema constructivo conduce a la aparición del estilo Románico, donde la bóveda de cañón corrido descansa sobre pesados y gruesos muros de piedra, reforzados en ocasiones con contrafuertes, poderosos en la percepción del espacio, sobre plantas basilicales de dimensiones crecientes, con escasa iluminación.

Otro aporte a destacar consistió en incorporar a la bóveda de cañón corrido un arco fajón o perpiaño, de mayores dimensiones que la bóveda a fin de que las cargas se concentren en estos arcos para transmitir los empujes a las pilastras que se adosan al muro que sostiene la bóveda, lo que permite reducir los esfuerzos en los muros para posibilitar la apertura de vanos. Se construían primero estos arcos perpiaños, confiriéndole a la armazón de la cimbra una gran rigidez, constituyendo el armazón sobre el que se elevaba el cuerpo de la bóveda. (Fig. 5)

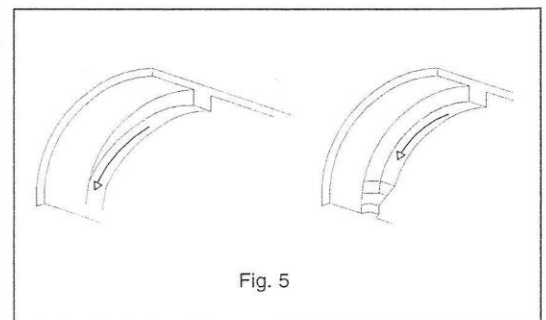
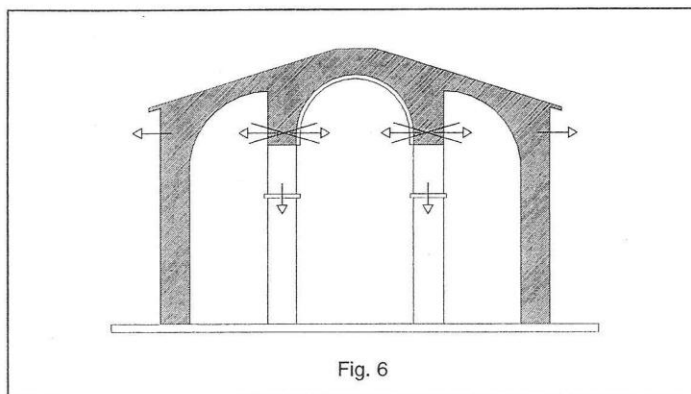


Fig. 5

El perfeccionamiento y evolución del arco obedeció a los siguientes factores:

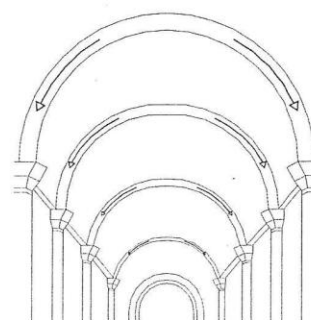
- Necesidad de superar las limitaciones que impone el muro
- Deseo de crecer en altura por motivaciones de índole espiritual, religiosa y estética
- Aumento de las comunidades religiosas, lo que obligó naturalmente al diseño de espacios más amplios, incorporando naves laterales conectadas con el espacio central, con el consiguiente incremento de los empujes.

En un principio el empuje de la nave central se contrarresta con 2 naves laterales de cuarto de punto, (Fig. 6) que al descender paulatinamente facilitan el equilibrio del conjunto, pero la necesidad de elevar la nave central para una adecuada iluminación y mejorar la calidad del espacio interior genera nuevos problemas estructurales, ya que en esas condiciones no era posible anular los empujes de la nave central con las naves laterales.



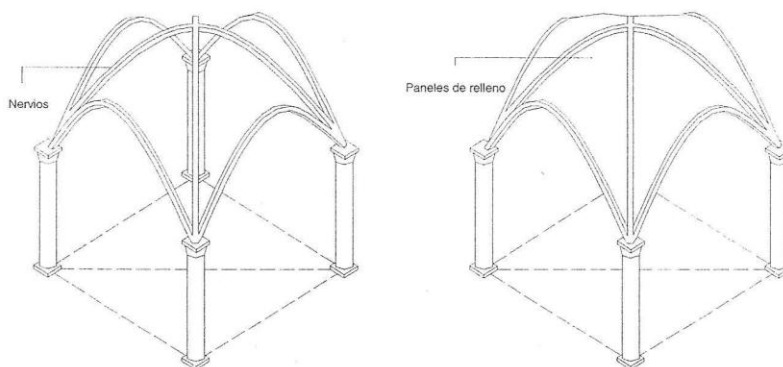
La obligación de resolver este problema condujo a una articulación progresiva del muro mediante refuerzos, gruesas pilastras, columnas, jambas, elementos diferenciados donde se concentraban los empujes y las cargas, permitiendo además, la apertura de vanos para iluminación y una modulación espacial más integrada. (Fig. 7)

Sin embargo, estos refuerzos no aportaron una solución integral, a tal punto que en las estructuras románicas aparecen deformaciones debidas a los empujes, en ocasiones con desplomes en los muros muy acentuados y visibles.



Es con la aparición del arco apuntado durante el **Gótico** y su aplicación en la BÓVEDA DE CRUCERÍA donde se encuentra una solución.

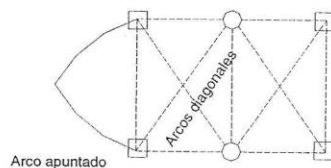
Ahora las cargas son transmitidas a nervios constituidos por 4 arcos perimetrales y 2 arcos diagonales que descargan en 4 grandes pilares, lo que permite alivianar el peso de la cubierta. (Fig. 8)



Catedral de Durham. Detalle del interior. Pueden apreciarse las nervaduras que componen el sistema de bóvedas, que descansan sobre importantes columnas.

Los empujes que antes actuaban sobre los muros, ahora se localizan en puntos concretos, posibilitando una solución menos comprometida de los problemas de iluminación en la nave central, muy difícil de resolver con la bóveda de cañón corrido y la bóveda de aristas. Los muros se aligeran, se disuelven, se transforman en pantallas luminosas, dando lugar a una interconexión creciente de los espacios, que se articulan cada vez más. (Fig. 9_a y b)

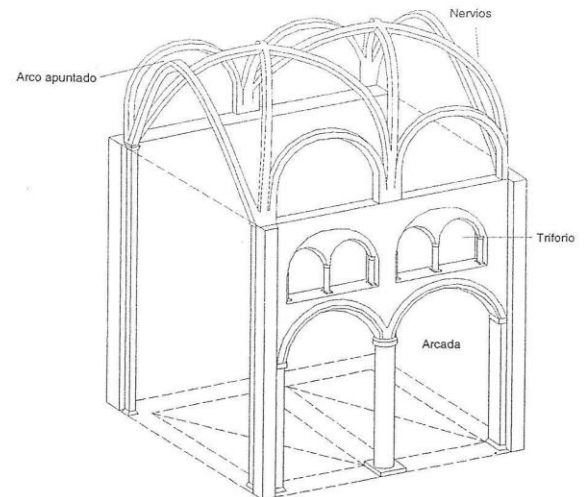
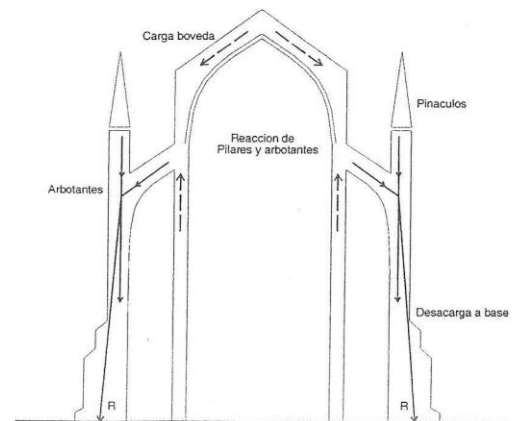
A diferencia de los arcos de medio punto, que solo podían aplicarse sobre plantas cuadradas, los **ARCOS OJIVALES** facilitan la construcción de bóvedas sobre plantas rectangulares.



Planta

Fig. 9_b

La absorción de los empujes se complementa con un componente estructural de fundamental importancia, los **ARBOTANTES**, reforzados con **CONTRAFUERTE**s de suficiente espesor que se complementan con **PINÁCULOS**, cuya función consistía en aumentar el peso, para que la resultante entre la carga inclinada de los arbotantes y la carga vertical de contrafuertes y pináculos se encuentre dentro del núcleo central eliminando toda posibilidad de tracción, esfuerzo para el que no están preparados los ladrillos y materiales pétreos en general. (Fig. 10_a y b)

Fig. 9_aFig. 10_aFig. 10_b: Notre Dame de París. Vista desde el río Senna.

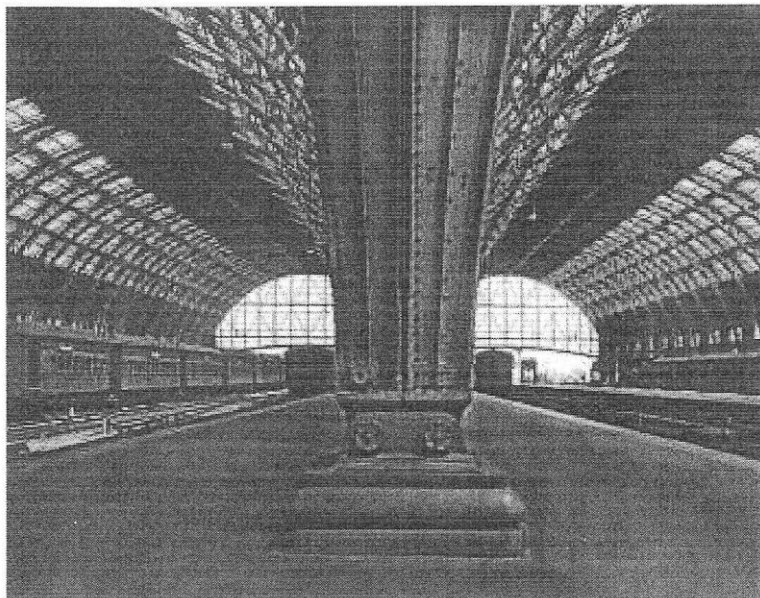
La utilización de los arbotantes y contrafuertes caracterizó la imagen de los edificios de estilo Gótico.

Hacia 1800, la etapa correspondiente a la revolución industrial, los arquitectos como los constructores, fueron los responsables en generar nuevos lenguajes arquitectónicos y nuevas soluciones constructivas asimilando los avances científicos y las posibilidades de un material que irrumpió en cantidad y características desconocidas hasta ese momento: el hierro.



El Acero fue utilizado en imponentes estructuras formadas por arcos, como en el caso de la Torre Eiffel, de 300 m, construida en el año 1889, con motivo de las Exposiciones universales.

Podemos nombrar como ejemplos de la utilización del Acero en las estructuras a partir de la revolución industrial, a la Torre Eiffel en París, y en nuestro país a la Estación Terminal de Retiro, en Buenos Aires.

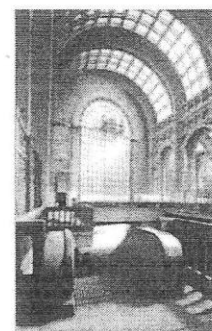


La Estación Retiro fue proyectada por los arquitectos británicos establecidos en Argentina Eustace L. Conder, Roger Conder y Sydney G. Follet, y por el ingeniero Reginald Reynolds. Se construyó entre 1909 y 1915. Corresponde a la tipología generada a fines del siglo XIX para las grandes estaciones de pasajeros. El sector del frente, con las ventanillas, confiterías y el Gran Hall, ha sido resuelto de acuerdo con la influencia académica francesa. El área de llegada y salida de los trenes está resuelto según los criterios y materiales - hierro y vidrio- impuestos por la Revolución Industrial. El sector de andenes está formado por ocho plataformas conectadas por túneles con montacargas para equipaje y vías de maniobra.

El imponente edificio está constituido por dos grandes naves paralelas, de 250 metros de largo y 50 metros de luz libre cada una. La estructura de cada nave se compone de una enorme bóveda formada por vigas metálicas soportadas por arcos de hierro colocados cada diez metros, alcanzando una altura interior de 25.15 m. La estructura metálica tiene un peso total cercano a las 8.000 toneladas; las piezas fueron fabricadas en Inglaterra y ensambladas en Buenos Aires.

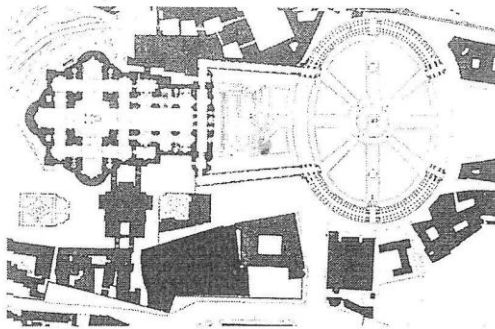
Poco tiempo después se agrega el hormigón armado, que a diferencia de los antiguos arcos de piedra o ladrillo, que solo podían absorber compresión, está en condiciones también de soportar la tracción provocada por la flexión con gran excentricidad, debido a la presencia del Acero. Esto conlleva a un notable incremento de las luces a cubrir y a una versatilidad formal que permitió el desarrollo y la realización de obras de llamativa calidad visual y estructural.

El mercado del Abasto de Buenos Aires (1929-32) constituye un ejemplo de utilización de Acero y Hormigón. Originalmente estaba compuesto por dos estructuras: El Mercado Viejo, una estructura metálica, testimonio del desarrollo de la metalurgia argentina casi completamente demolido, y el Mercado Nuevo, realizado en hormigón armado.



El desarrollo de los materiales y las técnicas constructivas han permitido generar numerosos ejemplos de enorme valor arquitectónico, el complemento de los elementos estructurales en el proyecto han dado como resultado nuevos lenguajes arquitectónicos. Algunos ejemplos más recientes pueden ser los siguientes:

Sala de Audiencias Pontificias, Ciudad del Vaticano. Pier Luigi Nervi. (Fig. 11 a y b). Construida en el año 1971.

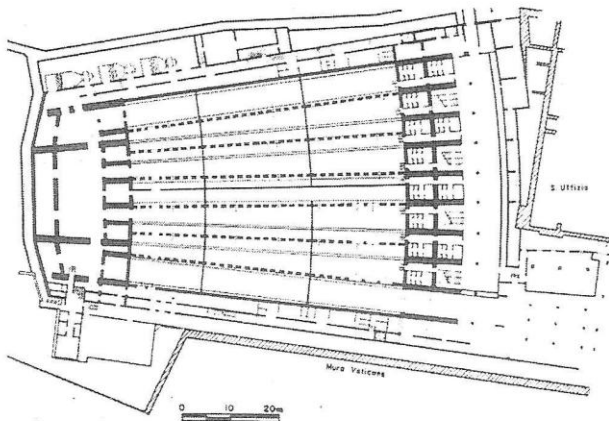
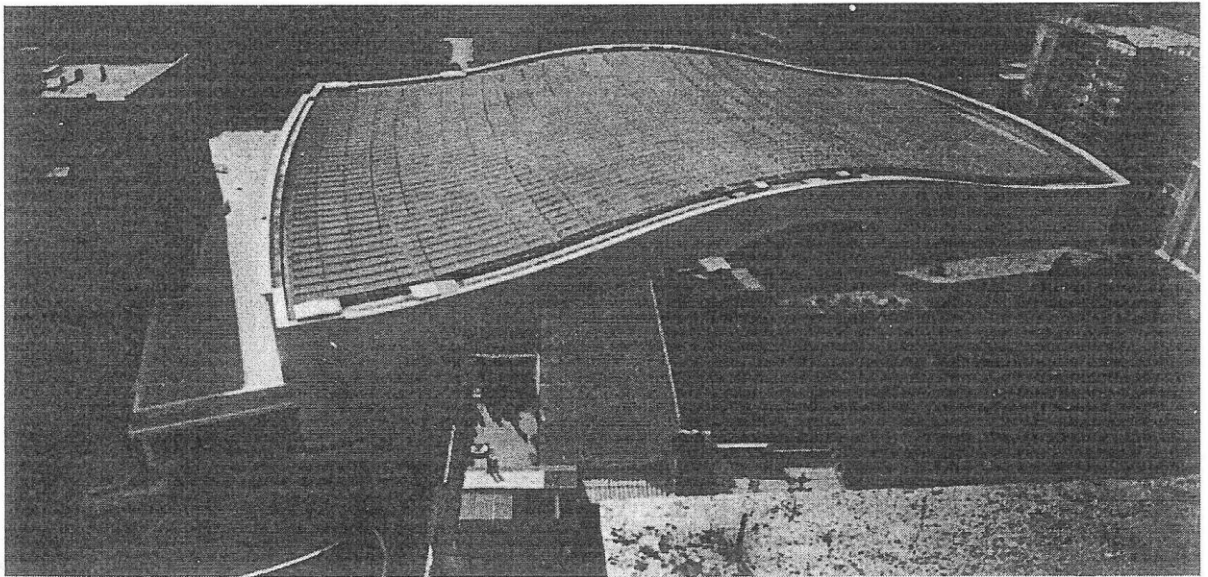


La elección de la estructura obedeció a la conjunción de diversos factores: las razones de índole estática, la distribución de los conductos de aire acondicionado, los problemas acústicos.

Se eligió un sistema abovedado con arcos donde la relación entre flecha y luz es relativamente pequeña, de aproximadamente el 10%. Está constituida por 41 arcos de sección ondulada - que le confieren un gran Momento de inercia sin incremento de sección y peso- formado cada uno por 18 piezas prefabricadas en el mismo taller de Nervi, de longitud y altura variables, y con aberturas rectangulares en las partes laterales, de distintas dimensiones.

Fig. 11 a: Ubicación del edificio en el Vaticano

Fig. 11 b: Vista de la cubierta desde el exterior



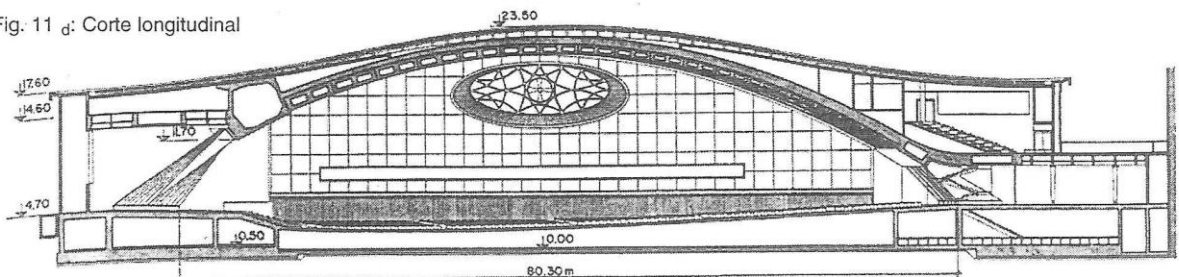
Las cargas actuantes son transmitidas por las bóvedas premoldeadas a 2 vigas cajón de hormigón armado, cuya forma hueca le posibilita tomar toda la altura de las ondas sin incremento de su peso.

Estas vigas cajón canalizan esos esfuerzos hacia unos gruesos pilares de hormigón armado encargados de transferir las fuerzas finalmente a los cimientos, donde los empujes horizontales son muy elevados por la reducida flecha de los arcos, lo que obliga, para su absorción, a utilizar un sistema de cadenas en estado de auto tensión controlada, que se enlazan finalmente a unos cajones de hormigón armado. (Fig. 11 c, d, e y f).

Estas cadenas son acompañadas por un conjunto de tabiques de hormigón armado que sostienen el pavimento y se sustentan sobre una platea del mismo material.

Fig. 11 c: Planta de cimientos. Los tabiques (en punteado) se elevan sobre una platea de fundación, sosteniendo el piso de la planta baja. Las cadenas (en trazo fino) absorben el empuje horizontal. En estado de autotensión controlada.

Fig. 11 d: Corte longitudinal



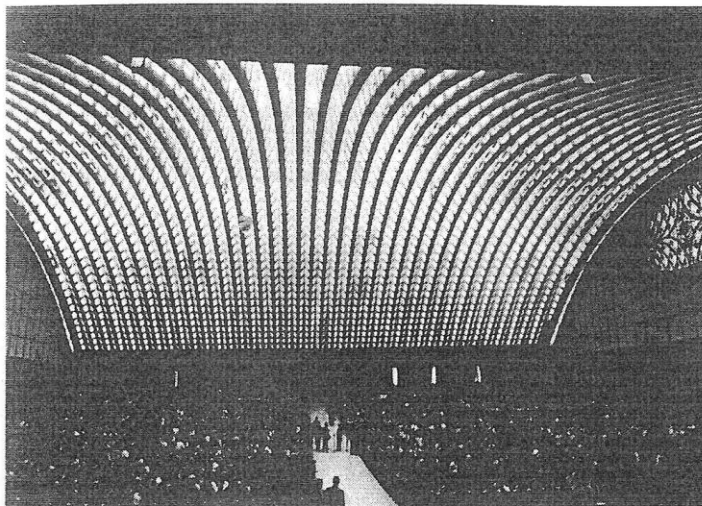


Fig. 11e: Vista interior de la cubierta de la sala. La estructura cumple, además con las funciones de paso y distribución del aire acondicionado, insonorización e iluminación.

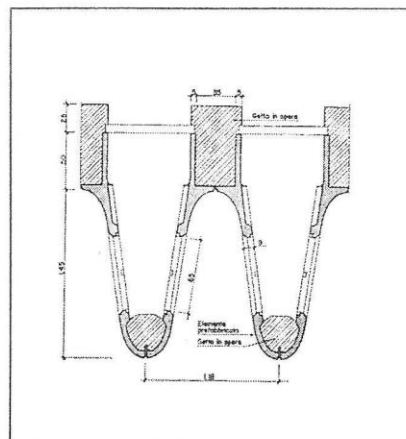


Fig. 11 f: La bóveda está formada por elementos prefabricados, compuestos por cemento blanco y piedras, que le otorgan una textura particular. Los empujes que estos arcos producen son recogidos por pilares de grandes dimensiones.

Los puentes de Santiago Calatrava constituyen un ejemplo del desarrollo y la realización de obras de llamativa calidad visual y estructural, porque en todas ellas los arcos alcanzan una valoración figurativa inusual para una estructura, compitiendo plásticamente en un plano de igualdad con las más destacadas obras de la arquitectura moderna. Valga la mención de alguna de ellas:

Puente peatonal Oudry Mesly, en Créteil, Francia. (Figs. 12 a, b y c)

La luz máxima es de 55 metros. Se caracteriza por sus arcos gemelos tubulares de acero que se abren en abanico cerca de los apoyos.

La armadura de hormigón de la calzada se apoya sobre 2 vigas arqueadas de acero, unidas por una serie de vigas transversales, en cuyos extremos se anclan los cables que conectan la armadura a los arcos mediante pernos soldados.

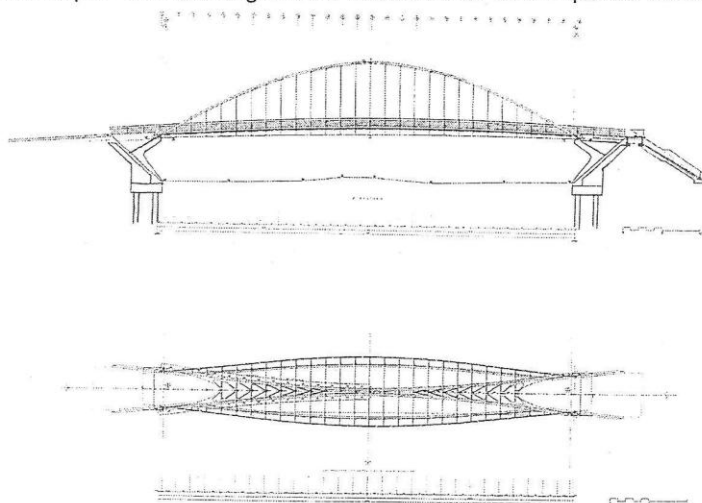


Fig. 12 a: Detalle de Corte y Planta del Puente

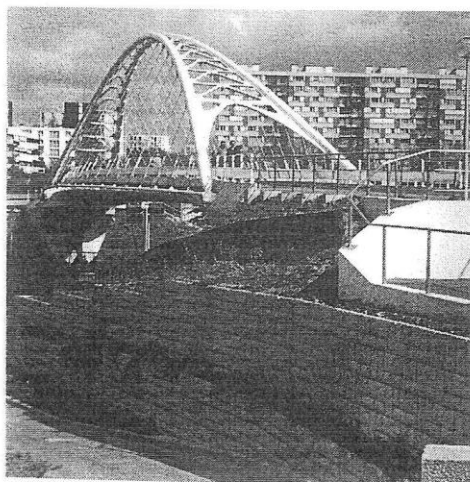
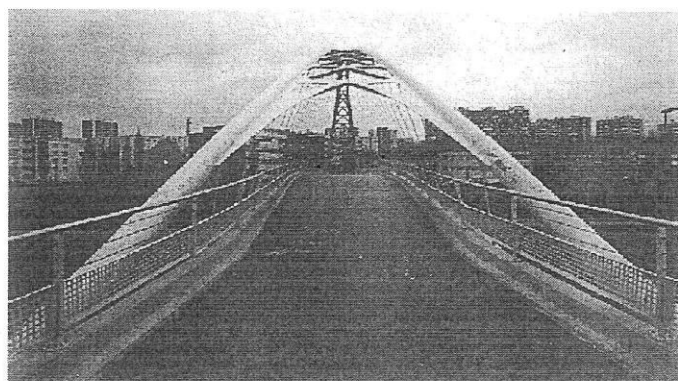


Fig. 12 b: Vista del puente desde la calzada.

Fig. 12 c: Vista desde la estructura metálica desde el paso peatonal.



Puente Felipe II, Bach de Roda, Barcelona, España. Santiago Calatrava (Fig. 13 a, b, c y d)

Posee una longitud total de 128 metros, dividido en 3 partes; la parte central cruza la vía férrea, tiene 45 m de longitud y está constituida por una viga de arco vertical unida a la viga cajón del puente mediante tensores y estabilizada por arcos laterales de acero que poseen una inclinación de 60 grados.

Se eleva 8 m por encima del plano del ferrocarril.

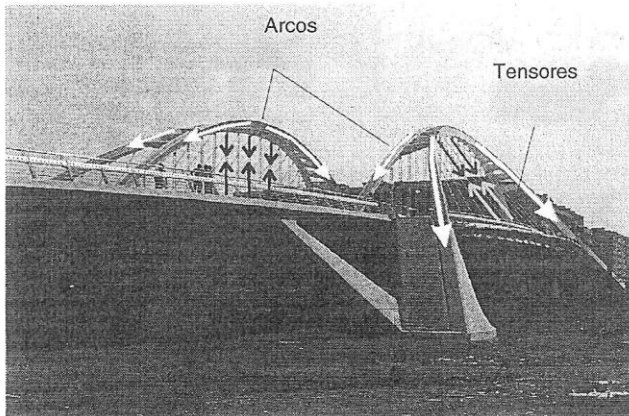


Fig. 13 a: Esquema de esfuerzos reactivos de los componentes de la estructura.

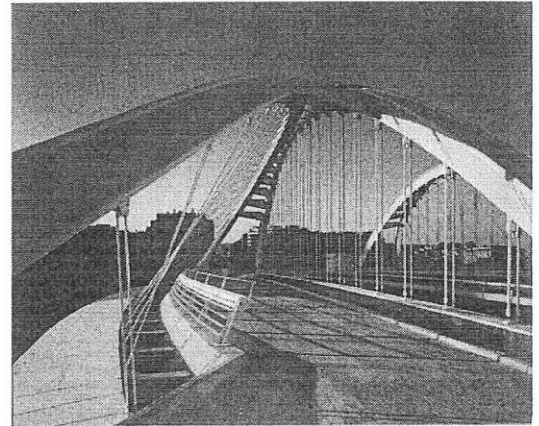


Fig. 13 b: La parte central del puente (45 m.) está compuesta por 2 arcos principales de acero, y 2 secundarios inclinados que equilibran el conjunto.



Fig. 13 c: Los arcos descansan en macizos bloques de hormigón, que se asientan sobre pilotes debido a la poca tensión del terreno



Fig. 13 d: Vista general. La longitud total del puente es de 128 m. La calzada se extiende sobre una gran viga-puente, cuya carga es soportada por tensores vinculados a los arcos.

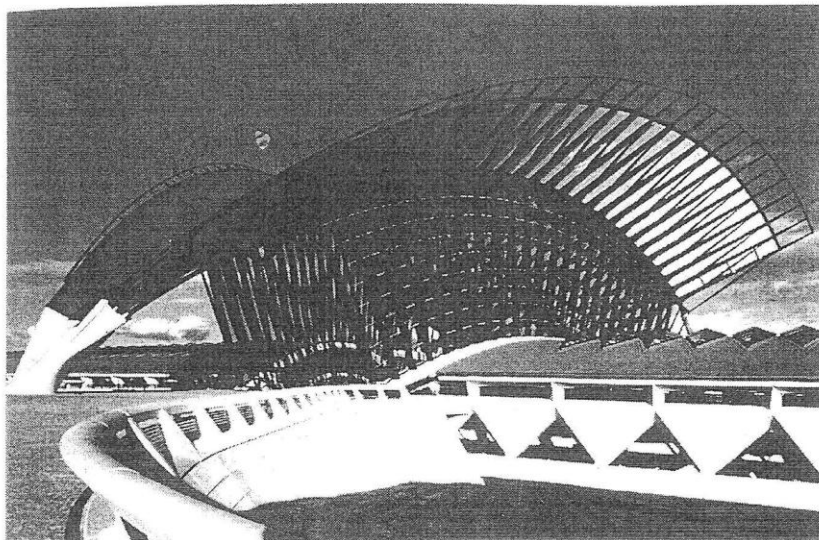
Estación TGV Rhone-Alpes, Satolas, Lyon, Francia. (Fig. 14 a, b y c)

Fig. 14 a: Bajo las alas, muro cortina con montantes de acero radiales, apoyados sobre los arcos huecos de hormigón, que constituyen la unión con la cubierta de las vías.

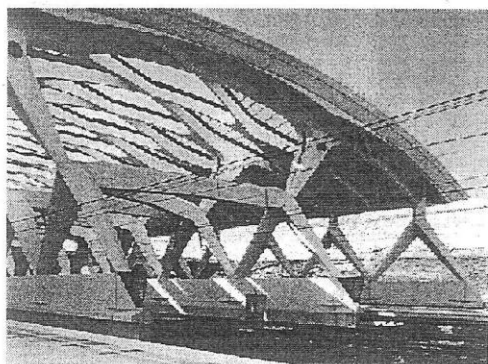
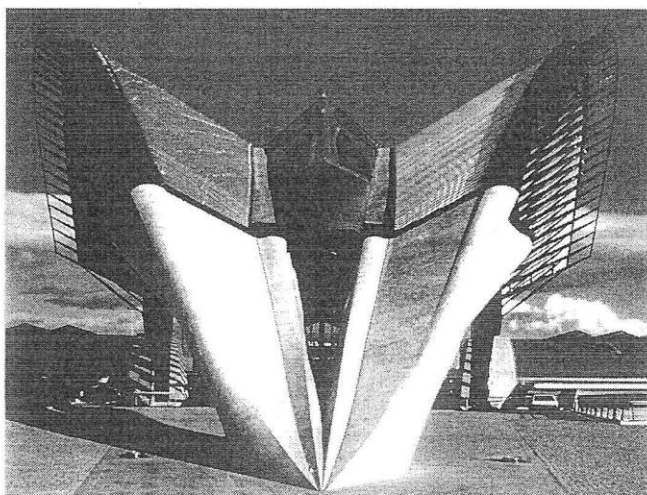


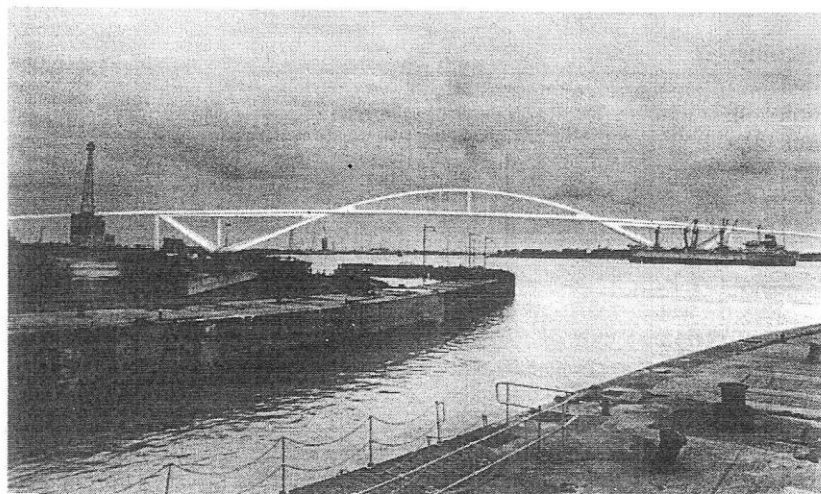
Fig. 14 b y c: Pórtico de entrada triangular de 30m. de altura, que se asemeja a un enorme pájaro con las alas desplegadas. Por encima se ubican los Arcos reticulares de acero de 100m. de luz, anclados en las bases de hormigón.



El edificio central de la estación está conformado por arcos reticulares de acero de aproximadamente 100 metros de luz, anclados en bases de hormigón.

La zona de las vías, de 500 m de longitud, está cubierta por un tinglado de chapa con nervaduras.

El sistema estructural de hormigón blanco se define por arcos apoyados en patas con forma de "y", éstos arcos se entrecruzan formando rombos, cubiertos con cristal y paneles de hormigón.

Puente sobre el Támesis, Londres, Gran Bretaña. (Fig. 15)

En el ojo central del puente la estructura está sostenida, mediante cables, por un arco rebajado de 25 metros de altura y una luz de 240 metros, que se apoya en el lecho del río sobre 2 sólidos soportes de hormigón.

El largo total del puente es de 630 m.

Fig. 15: Vista del puente desde el Río Támesis.

Una idea de las luces que pueden salvar los arcos de Hormigón armado lo constituye el **Puente Sandó**, en Suecia, de 263 metros de luz, con montantes de compresión conectados al tablero de circulación vehicular. (Fig. 16 a y b)

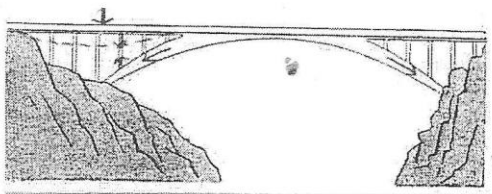


Fig. 16 a: La calzada vehicular se apoya mediante pilares sobre el enorme arco de hormigón.

El desarrollo de materiales resistentes a la flexión permitió la construcción de estructuras más complejas. Los arcos romanos de medio punto cubrían unos 30 metros de luz, los puentes medievales de piedra, hasta unos 55 metros. En la actualidad los puentes pueden cubrir luces mucho más grandes, como el Puente Sandó, que supera una luz de 260 m.

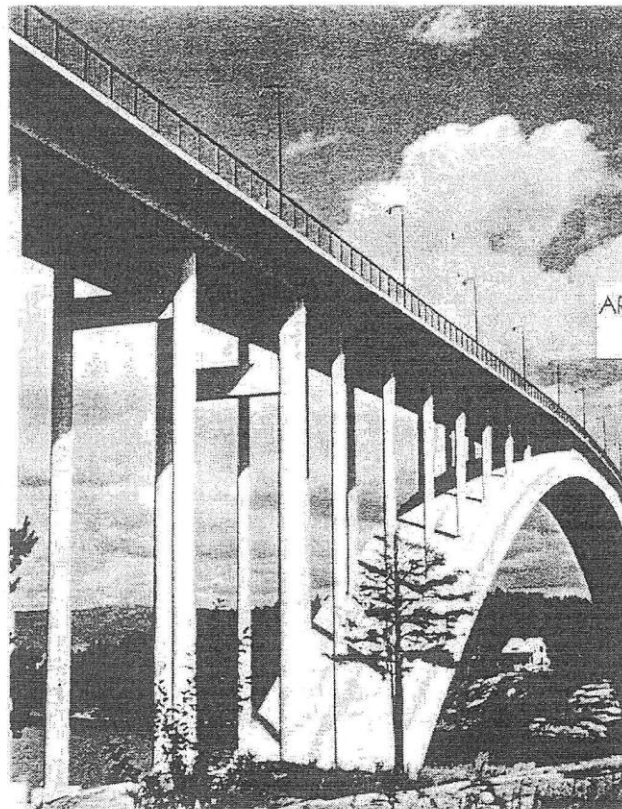


Fig. 16 b: Vista del puente.

DISEÑO DE UN ARCO

¿Cómo se encara el diseño de un Arco?

Si el funicular de las cargas constituye la forma que adopta naturalmente todo cable traccionado, en el caso de un Arco comprimido, la trayectoria lógica de la línea de presiones será el **antifunicular**, que no es otra cosa que el funicular invertido, siendo por consiguiente la **directriz ideal de todo arco**, pues nos asegura que este se hallará sometido solo a compresión axil. (Fig. 17)

En consecuencia, el diseño consistirá básicamente en hallar el antifunicular de las cargas actuantes sobre el arco, que denominamos también LINEA DE PRESIONES.

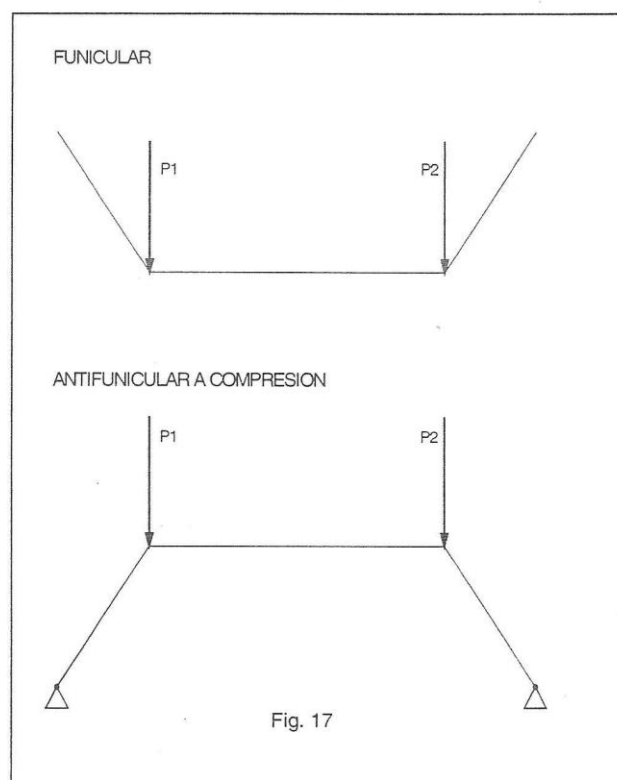


Fig. 17

¿Cómo obtenemos el antifunicular?

Siguiendo el procedimiento que se indica en la Fig. 18, donde se trata de proyectar un Arco con una luz y flecha determinada.

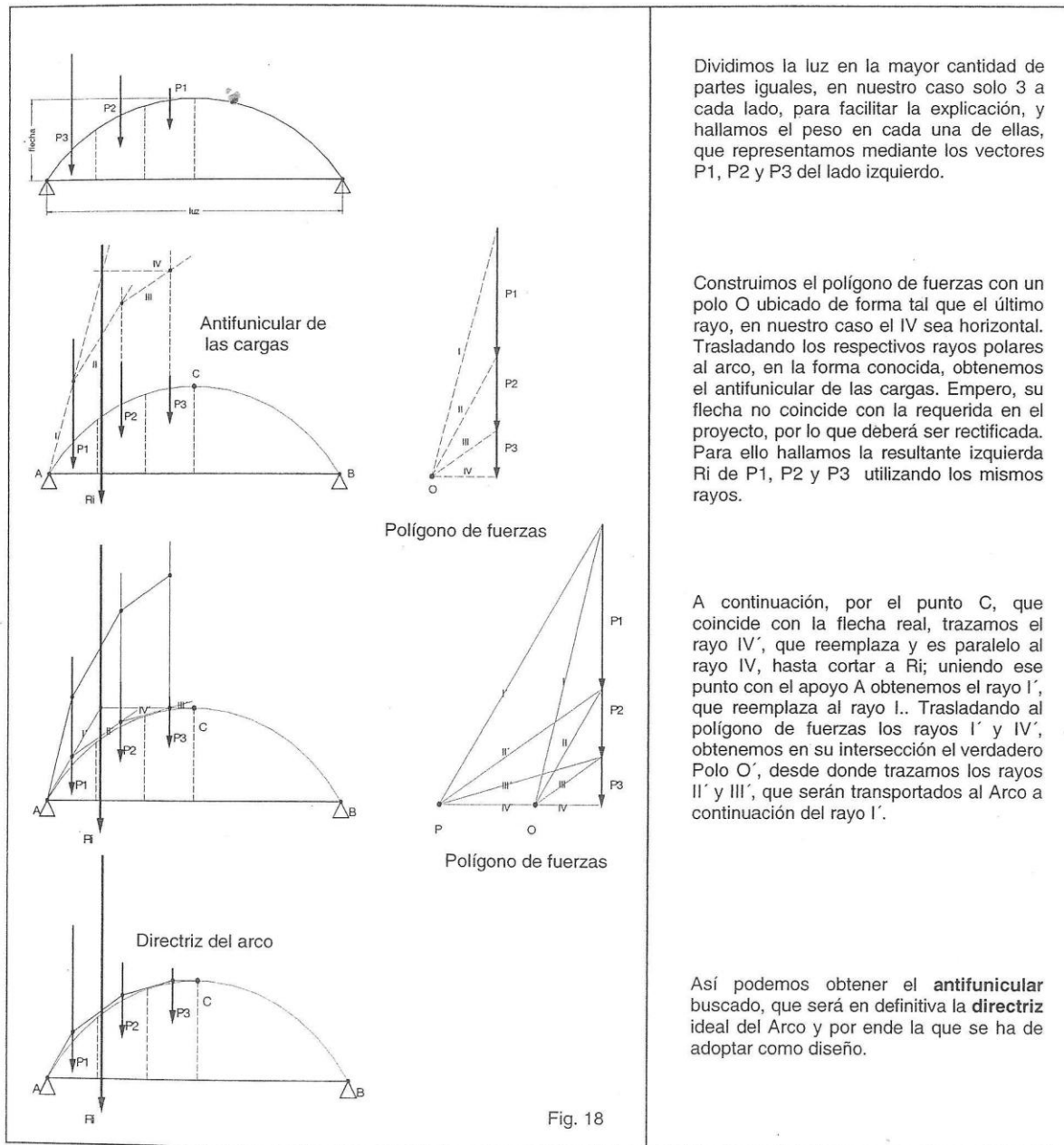


Fig. 18

Dividimos la luz en la mayor cantidad de partes iguales, en nuestro caso solo 3 a cada lado, para facilitar la explicación, y hallamos el peso en cada una de ellas, que representamos mediante los vectores P_1, P_2 y P_3 del lado izquierdo.

Construimos el polígono de fuerzas con un polo O ubicado de forma tal que el último rayo, en nuestro caso el IV sea horizontal. Traslado los respectivos rayos polares al arco, en la forma conocida, obtenemos el antifunicular de las cargas. Empero, su flecha no coincide con la requerida en el proyecto, por lo que deberá ser rectificada. Para ello hallamos la resultante izquierda R_i de P_1, P_2 y P_3 utilizando los mismos rayos.

A continuación, por el punto C , que coincide con la flecha real, trazamos el rayo IV' , que reemplaza y es paralelo al rayo IV , hasta cortar a R_i ; uniendo ese punto con el apoyo A obtenemos el rayo I' , que reemplaza al rayo I . Traslado al polígono de fuerzas los rayos I' y IV' , obtenemos en su intersección el verdadero Polo O' , desde donde trazamos los rayos II' y III' , que serán transportados al Arco a continuación del rayo I' .

Así podemos obtener el **antifunicular** buscado, que será en definitiva la **directriz** ideal del Arco y por ende la que se ha de adoptar como diseño.

¿Adopta el antifunicular alguna forma específica?

Siendo el esquema de cargas variable y creciente conforme aumenta la pendiente hacia los apoyos, similar a un cable colgante que sostiene su propio peso, la línea de presiones adoptará también la forma de una "Catenaria", que en consecuencia será la directriz ideal del Arco. Sin embargo, al no poseer ninguna función analítica que la represente, resulta muy complejo su trazado, por lo que, para Arcos rebajados, que poseen pendientes reducidas, y por ende pequeñas variaciones de carga, se puede asimilar la directriz a una Parábola de 2° grado sometida a una carga uniformemente distribuida, entendiéndose por flecha reducida aquella donde su relación con la luz es aproximadamente:

$$0.10 \leq \frac{f}{l} \leq 0.20$$

De lo expuesto se deduce que para cada esquema de cargas existe un antifuncular, para el cual todo el arco trabaja a compresión simple. Esa forma puede determinarse también colgando las cargas de un cable e invirtiendo la curva resultante. Aunque un arco sea funicular para un sistema determinado de cargas, no puede serlo para todos los sistemas de cargas que esté llamado a resistir, lo que implica la aparición de la flexión.

¿Es lo que sucede cuando sopla el viento?

El viento genera presión sobre la cara anterior y succión en la cara posterior dando lugar a una deformada como se indica en la Fig. 19, si se hace abstracción del peso propio, donde la línea de presiones ya no coincide con la directriz del arco, pues se aleja de esta con una excentricidad que provoca una flexión positiva a barlovento y otra negativa a sotavento. Combinando distintos estados de carga se comprueba que el más desfavorable es aquel donde la carga permanente actúa en todo el Arco mientras que el viento o la nieve solo lo hacen en la mitad anterior.

Se obtiene el Momento flexor máximo a $\frac{1}{4}$ de la luz del Arco porque allí la línea de presiones alcanza su máxima excentricidad, y es por consiguiente la sección que se elige para la verificación a Flexocompresión.

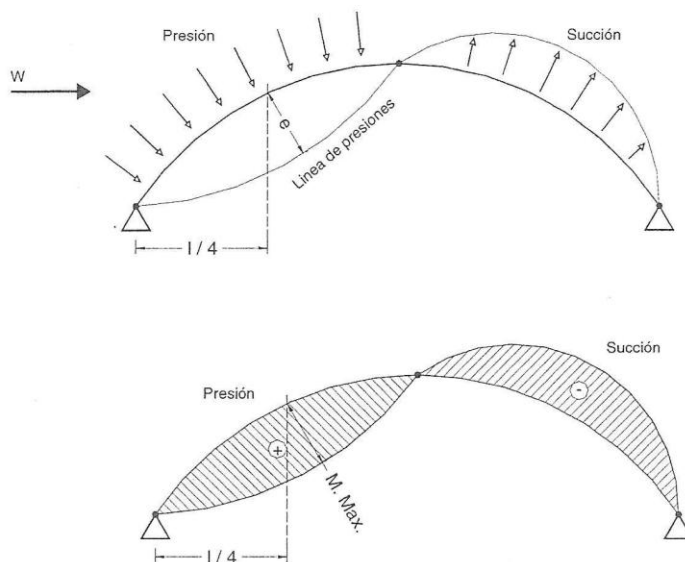


Fig. 19: Carga de Viento.

En el caso de los tradicionales arcos de piedra o de ladrillo, que no soportan la tracción, es fundamental constatar que la línea de presiones pase dentro del Núcleo central, a fin de asegurarnos que toda la sección se halla comprimida. De no ser así, será necesario rediseñarla aumentando, por ejemplo, su altura.

El incremento de las luces implica un aumento de la compresión y en especial de la esbeltez, con el consiguiente peligro de pandeo, en particular en los arcos exentos, (Fig. 20) por lo que no resulta conveniente la sección rectangular, siendo en cambio aconsejable adoptar formas compuestas, con las que es posible lograr un mayor momento de inercia y consecuente rigidez al pandeo con gran economía de sección, peso y material.

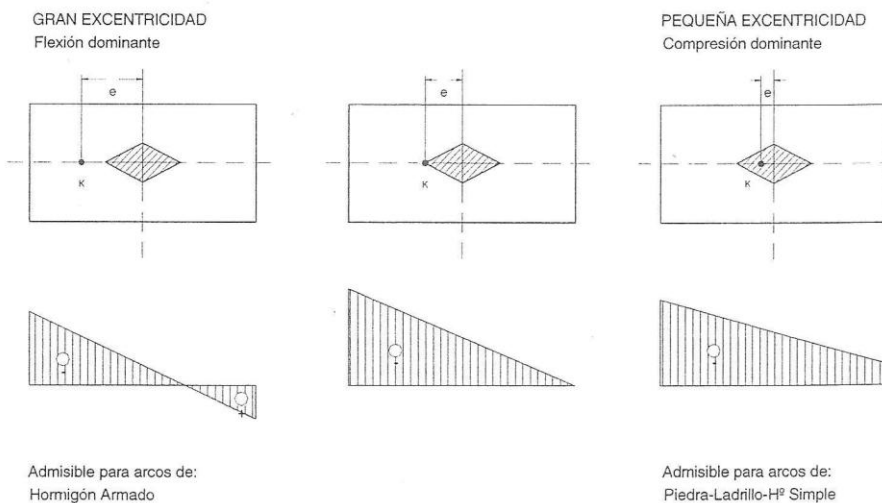


Fig. 20

¿Cómo se encara la fundación?

Se pueden utilizar bases inclinadas con una pendiente determinada por las Reacciones en ambos apoyos, que son una continuación natural de la línea de presiones, según se indica en la Figura 21.

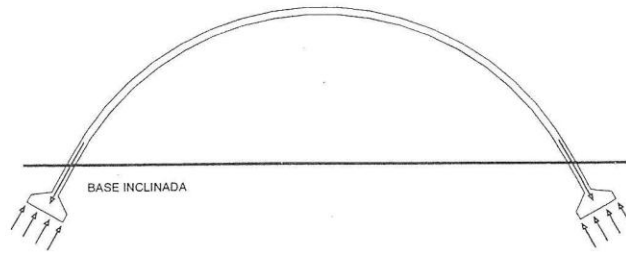


Fig. 21

También pueden utilizarse bases rectas, pero con doble zapata, para absorber la Reacción vertical y el empuje horizontal, respectivamente, según la Figura 22.

Como la reacción horizontal suele ser elevada, muy superior a la vertical, esta solución puede hacer necesario utilizar bases de grandes dimensiones.

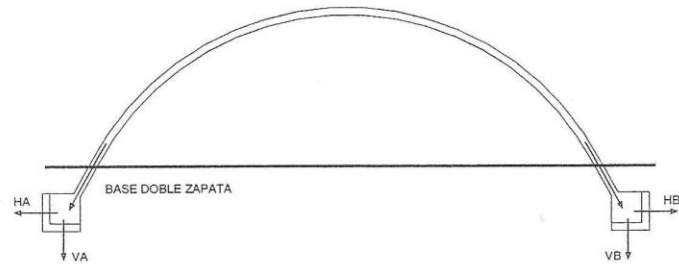


Fig. 22

Otra variante es utilizar la tradicional base de compresión para materializar la reacción vertical y utilizar un tensor para absorber la tracción provocada por el empuje horizontal. (Fig. 23)

En este caso la dilatación del Acero puede llegar a afectar el trabajo del tensor.

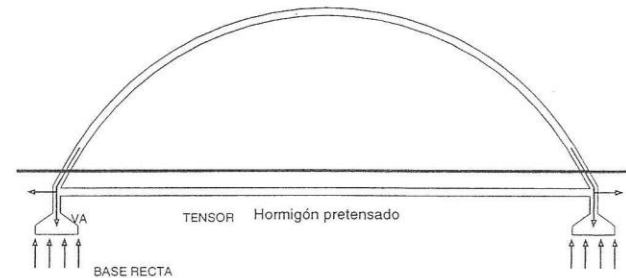


Fig. 23

En el caso de cubrir un recinto donde exista una Piscina o cualquier otra situación que obligue a realizar una excavación impidiendo la colocación del tensor a nivel del contrapiso, el empuje podrá ser absorbido, por ejemplo, por un sistema con Pilotes de tracción situados debajo y arriostrados por un conjunto de tensores, siguiendo la transferencia de esfuerzos que se indica en la Figura 24.

Se observa que el empuje horizontal se descompone en una vertical de compresión que toma la base y una inclinada de tracción que es absorbida por el tensor.

A su vez, la carga inclinada de tracción que transmite este tensor se descompone en una vertical que absorben los Pilotes de tracción a través del cabezal y una horizontal que es absorbida por el tensor horizontal que se conecta con el otro cabezal completando el arriostramiento.

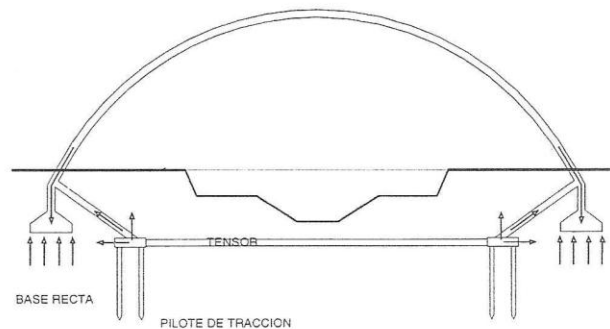


Fig. 24