

7. PUENTES

7.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

Por lo general, el término **punto** se utiliza para describir a las estructuras viales, con trazado por encima de la superficie, que permiten vencer obstáculos naturales como ríos, quebradas, hondonadas, canales, entrantes de mar, estrechos de mar, lagos, etc.

Por su parte, el término **viaducto** está generalmente reservado para el caso en que esas estructuras viales se construyan por necesidades urbanas o industriales (como los pasos elevados dentro de las ciudades o de los complejos industriales), o para evitar el cruce con otras vías de comunicación (como los intercambiadores de tránsito en las autopistas) además el viaducto se compone de gran número de vanos sucesivos. Una **pasarela** es una obra reservada a los peatones o dispuesta para soportar canalizaciones. Un **pontón** es un puente de dimensiones pequeñas (del orden de 3 a 10 metros).

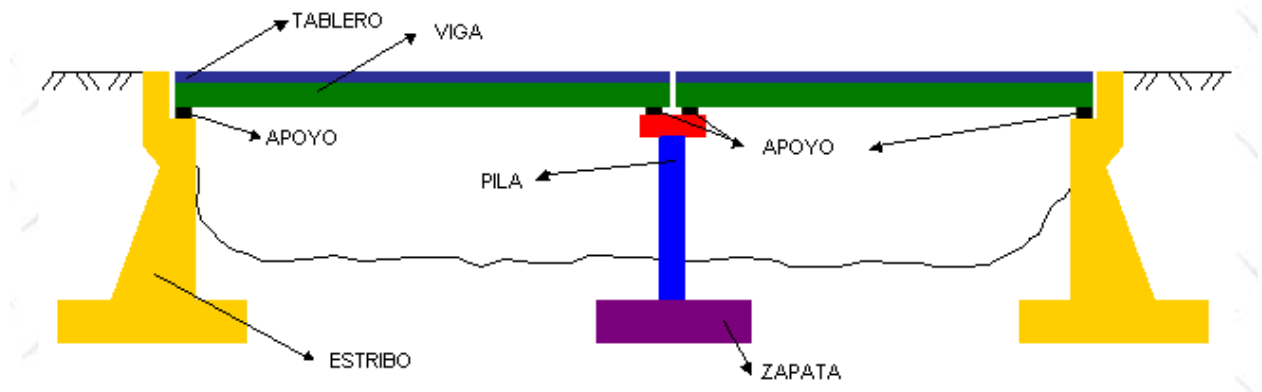
Los puentes constan fundamentalmente de dos partes: la superestructura y la infraestructura.

Superestructura: Es la parte del puente en donde actúa la carga móvil, y está constituida por:

- Tablero
- Vigas longitudinales y transversales
- Aceras y pasamanos
- Capa de rodadura
- Otras instalaciones

Infraestructura o subestructura: Es la parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación, y está constituida por:

- Estribos
- Pilas



Pilas: son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. Deben soportar la carga permanentemente y sobrecargas sin asentos, ser insensibles a la acción de los agentes naturales (viento, riadas, etc.).

Vigas longitudinales y transversales son los elementos que permiten salvar el vano, pudiendo tener una gran variedad de formas como con las vigas rectas, arcos, pórticos, reticulares, vigas Vierendeel etc.

Tablero: soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico) y por medio de las armaduras transmite sus tensiones a estribos y pilas, que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en la roca o en el terreno circundante. Sobre el tablero y para dar continuidad a la rasante de la vía viene la capa de rodadura. Los tableros van complementados por los bordillos que son el límite del ancho libre de calzada y su misión es la de evitar que los vehículos suban a las aceras que van destinadas al paso peatonal y finalmente al borde van los postes y pasamanos.

Apoyo: son los elementos a través de los cuales el tablero transmite los acciones que le solicitan a las pilas y/o estribos. El mas común de los apoyos es el neopreno zunchado, está constituido por un caucho sintético que lleva intercaladas unas chapas de acero completamente recubiertas por el material elastómero. Tienen impedido el movimiento vertical.

Estribos: situados en los extremos del puente sostienen los terraplenes que conducen al puente. A diferencia de las pilas los estribos reciben además de la superestructura el empuje de las tierras de los terraplenes de acceso al puente, en consecuencia trabajan también como muros de contención. Los estribos están compuestos por un muro frontal que soporta el tablero y muros en vuelta o muros-aletas que sirven para la contención del terreno.

Vano: cada uno de los espacios de un puente u otra estructura, comprendida entre dos apoyos consecutivos. La distancia entre dos puntos de apoyo consecutivos de los elementos portantes principales es la luz del vano; no hay que confundirla con la luz libre que es la distancia entre los paramentos de los apoyos, ni con la longitud del puente.

Tajamar: elemento extremo de la pila de un puente que adopta una forma de sección redondeada, almendrada o triangular para conducir suavemente la corriente de agua hacia los vanos para que disminuya el empuje sobre la obra y se facilite el desagüe



7.2 TIPOLOGÍA DE PUENTES

Los puentes los podemos clasificar según:

1. LA NATURALEZA DE LA VÍA SOPORTADA

- Puentes de carretera
- Puentes de ferrocarril
- Puentes-canal
- Puentes-acueductos

2. EL MATERIAL CONSTITUTIVO

DE MADERA

La madera es el material que utilizó el hombre para hacer sus primeras construcciones; un tronco de árbol sobre un río fue seguramente el primer puente artificial. Los puentes de madera son más fáciles y más rápidos de construir que los de piedra, y han resultado siempre más económicos; por ello, los primeros que construyó el hombre fueron de madera, y a lo largo de la Historia se han construido innumerables puentes de este material, muchos más que de piedra.

Los puentes de madera han planteado siempre problemas de durabilidad y por ello se han considerado siempre de una categoría inferior que los de piedra; generalmente se les ha dado carácter de obra provisional; se aspiraba a sustituirlos por uno de piedra en cuanto hubiera dinero para ello

Los dos problemas básicos de durabilidad de los puentes de madera son los siguientes:

- A) En primer lugar el propio material, que se deteriora con el paso del tiempo si no se cuida especialmente.
- B) En segundo lugar su vulnerabilidad al efecto de las avenidas de los ríos. Cada avenida extraordinaria se llevaba muchos puentes de madera, y por ello siempre ha habido una clara consciencia de su debilidad frente a las acciones destructivas del propio río

Hoy en día se siguen construyendo pasarelas de madera, aunque solamente en casos excepcionales, porque resultan más caras que las metálicas o las de hormigón que son los materiales que se utilizan normalmente hoy en día para hacer puentes.

METÁLICOS

- De fundición
- De hierro forjado
- De acero

El empleo del hierro significó una transformación radical en la construcción en general, y en los puentes en particular; sus posibilidades eran mucho mayores que las de los materiales conocidos hasta

entonces, y por ello se produjo un desarrollo muy rápido de las estructuras metálicas, que pronto superaron en dimensiones a todas las construidas anteriormente. Hoy en día sigue siendo el material de las grandes obras, y en especial de los grandes puentes, si bien el hierro que se utiliza ahora no es el mismo que se utilizó en los orígenes, porque el material también ha evolucionado significativamente; hay diferencia considerable de características y de calidad entre los aceros actuales, y el hierro fundido que se utilizó en un principio

El rápido desarrollo a principios del s. XIX de los puentes metálicos se debió básicamente a dos causas fundamentales

- A) En primer lugar, el nuevo material tenía muchas más posibilidades que los anteriores, porque su capacidad resistente era mucho más alta.
- B) En segundo lugar, se empezó a conocer con cierto rigor el comportamiento resistente de las estructuras, lo que permitió, a la hora de proyectar un puente, dimensionar sus distintos elementos cuantificando su grado de seguridad, y con ello ajustar al máximo sus dimensiones.

Los materiales derivados del hierro que se han utilizado sucesivamente en la construcción han sido, la fundición, el hierro forjado y el acero

A pesar de su mayor precio, el hierro fué sustituyendo progresivamente a la fundición en la construcción de puentes de arco a causa de sus mejores características mecánicas. Los grandes arcos metálicos aportaron una solución relativamente económica y muy espectacular para franquear a gran altura valles profundos y ríos anchos en los que las cimbras resultaban muy difíciles y costosas (160 m. de luz). Finalmente, la solución metálica es la única a plantearse para los puentes móviles: giratorios y levadizos.

Los primeros puentes grandes que se construyeron con hierro forjado fueron el de Conway, y el Britannia en los estrechos de Menai, dos puentes en viga cajón de grandes dimensiones para ferrocarril. A finales del s. XIX, cien años después de la iniciación de los puentes metálicos, se empezó a utilizar el acero para construir puentes. Conseguir que los materiales de construcción sean dúctiles y no frágiles, es uno de los logros importantes de su tecnología.

El acero se conocía mucho antes de que se empezara a fabricar industrialmente a finales del s. XIX, y de hecho se había utilizado en algún puente aislado; ejemplo de ello son las cadenas del puente colgante sobre el Canal del Danubio en Viena, de 95 m de luz, terminado en 1828. Pero era un material caro hasta que en 1856 el inglés Henry Bessemer patentó un proceso para hacer acero barato y en cantidades industriales, mediante un convertidor donde se insuflaba aire en el hierro fundido que reducía las impurezas y el contenido de carbono.

El primer gran puente cuya estructura principal es de acero es el de San Luis sobre el río Mississippi en los Estados Unidos, proyecto de James B. Eads en 1874, con tres arcos de 152+157+152 m de luz. Los dos grandes puentes de finales del s. XIX fueron también de los primeros que se hicieron con acero: el

puente de Brooklyn y el puente de Firth of Forth. Desde finales de s. XIX el acero se impuso como material de construcción sobre el hierro, y por ello, a partir de entonces, todos los puentes se han hecho de acero.

DE HORMIGÓN

-Armado

-Pretensado

Armado

El hormigón armado es una colaboración del acero y el hormigón, adecuado especialmente para resistir esfuerzos de flexión. El hormigón es muy adecuado para resistir compresiones y el acero en barras para resistir tracciones. Por ello las barras de acero se introducen en la pieza de hormigón, en el borde que debe resistir las tracciones, y gracias a la adherencia entre los dos materiales, las primeras resisten las tracciones y el segundo las compresiones.

Durante muchos años las barras de acero eran lisas, pero gracias a una serie de ensayos, se comprobó que la adherencia entre el acero y el hormigón, uno de los mecanismos básicos para que el hormigón armado funcione, mejoraba significativamente haciendo las barras corrugadas, es decir, con resaltes transversales, y así son las barras actuales.

Se imponen dos soluciones clásicas: los de vigas de alma llena, que podían ser vigas en T unidas por la losa superior, o vigas de cajón para las luces mayores; y los arcos, solución idónea para el hormigón, que es un material adecuado para resistir compresiones.

Pretensado

El hormigón pretensado se puede considerar un nuevo material; su diferencia con el hormigón armado es que en éste la armadura es pasiva, es decir, entra en carga cuando las acciones exteriores actúan sobre la estructura; en el pretensado, en cambio, la armadura es activa, es decir se tesa previamente a la actuación de las cargas que va a recibir la estructura (peso propio, carga muerta y cargas de tráfico), comprimiendo el hormigón, de forma que nunca tenga tracciones o que éstas tengan un valor reducido. La estructura se pone en tensión previamente a la actuación de las cargas que van a gravitar sobre ella, y de ahí su nombre de hormigón pretensado. En definitiva, es adelantarse a las acciones que van a actuar sobre la estructura con unas contra-acciones que es el momento en que se tesan las armaduras; se pueden tesar antes de hormigonar la pieza, es decir, pretesarlas, o se les puede dar carga después de hormigonada la pieza, es decir, postesarlas.

El puente de Bendorf sobre el Rin; el de Castejón de 101 m de luz de 1967; el puente de Dorénaz sobre el Ródano, Suiza, de 45 m de luz central, 1933; el puente de Esbly, 74 m de luz, 1951 sobre el río Marne; etc. son ejemplos de puentes de hormigón pretensado

Mixtos

La estructura mixta es una nueva forma de colaboración del acero y el hormigón, en este caso yuxtapuestos, no mezclados como en el hormigón armado y pretensado, pero sí conectados entre sí para que trabajen conjuntamente.

Una de las dificultades de los puentes metálicos fue durante mucho tiempo la materialización de la plataforma de rodadura de las carreteras. Inicialmente la mayoría de los tableros de los puentes metálicos eran de madera; cuando apareció el hormigón armado se utilizaron con frecuencia losas de hormigón; también había puentes con tablero abierto, hecho con una rejilla de pletinas metálicas ortogonales colocadas verticalmente para conseguir rigidez a flexión; este tipo de tablero se usaba mucho en los puentes móviles, pero es incómodo para el tráfico. A pesar de ello se ha utilizado en puentes bastante recientes.

Parte de la plataforma de rodadura del puente colgante de Lisboa sobre el Tajo, construido en 1966, es de este tipo. La innovación de la estructura mixta ha sido incorporar la losa de hormigón de la plataforma a la estructura resistente.

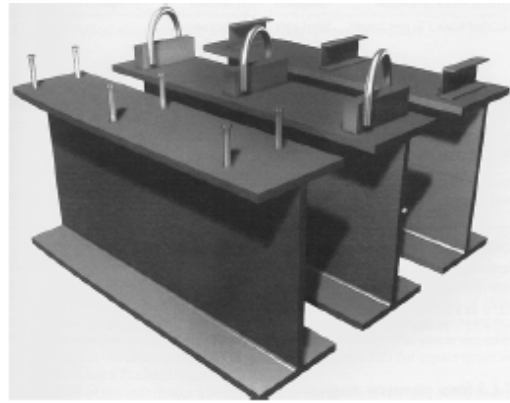
Una de las principales ventajas de los puentes mixtos, y por ello sustituyen a los puentes pretensados, incluso en luces pequeñas, es que su construcción se puede hacer igual que la de un puente metálico con las ventajas que esto representa por su mayor ligereza. Es más fácil montar un cajón metálico de 30 ó 40 m de luz que uno de hormigón; una vez montado el cajón metálico sólo queda hacer el tablero de hormigón, bien in situ, o bien prefabricado. Esta solución es clásica en pasos superiores sobre autopistas en funcionamiento.

El problema singular de las estructuras mixtas es la conexión entre el hormigón y el acero para asegurar que ambos materiales trabajen conjuntamente; para ello se debe transmitir el esfuerzo rasante que se desarrolla en la unión de un material a otro. Esta conexión se realiza normalmente con elementos metálicos, los conectores, que van soldados al acero y embebidos en el hormigón, al que se unen por adherencia.

Entre los grandes puentes mixtos se pueden citar los siguientes: puente Merstla sobre el río Meuse y sobre el canal Albert, el puente de Tortosa sobre el río Ebro, el puente sobre el río Caroní en Ciudad Guyana, Venezuela, para ferrocarril y carretera, tiene una luz máxima de 213 m; se terminó en 1992 y es actualmente el puente viga mixto de mayor luz.



Puente mixto



Tipos de conectores

3. EL TABLERO SEA FIJO O MÓVIL

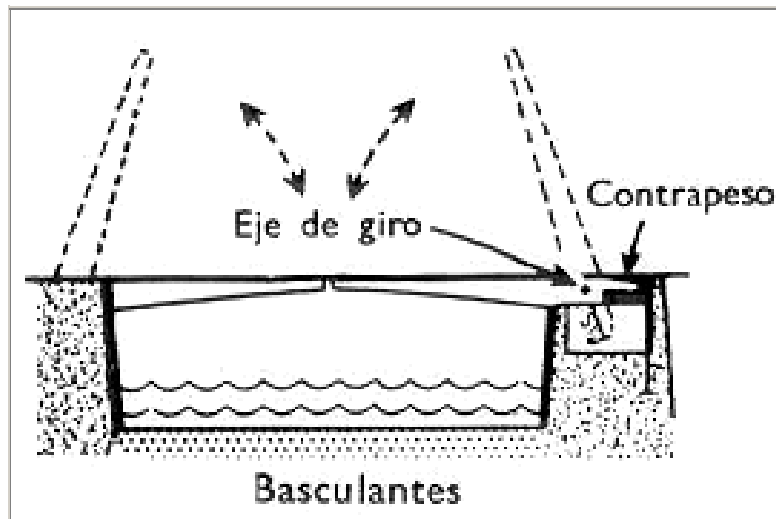
FIJOS

MÓVILES

Los puentes móviles son aquellos en que el tablero o parte de él es móvil, con tal de permitir el paso alternativo a dos tipos de tráfico muy diferente, generalmente el terrestre y el marítimo. De este modo cuando están cerrados permiten el paso de los vehículos rodados o ferrocarriles y cuando están abiertos permiten el paso de los barcos. La ventaja de los puentes móviles radica en que no es necesario construir un puente de gran altura para permitir el pasaje de los buques. Por otra parte, cuando la intensidad de tránsito sobre el puente es moderada o alta se producen largas colas de vehículos a la espera de que el puente vuelva a estar habilitado al tránsito. Otra desventaja es la espera que se produce en el tránsito de buques cuyas maniobras se complican en condiciones de mal tiempo o poca visibilidad.

Basculantes

Un puente basculante es un tipo de puente móvil que se construye sobre canales navegables a fin de facilitar el paso de embarcaciones por debajo sin necesidad de elevar la traza de la carretera. Están compuestos por 2 secciones que se abren en dirección perpendicular al plano del puente con la ayuda de contrapesos situados bajo la plataforma. Son los más clásicos de los móviles y los que más se utilizan actualmente.



El puente de la Torre de Londres, con una luz de 79 m, sigue siendo uno de los puentes basculantes más grandes del mundo; su movimiento se debe al giro del conjunto tablero-contrapeso sobre una rótula simple situada en el centro de gravedad del sistema, y se acciona mediante un sistema hidráulico. Este sistema es el que se utiliza hoy día en la mayoría de los puentes basculantes. El conjunto del puente es una estructura muy singular, porque sobre las pilas del tramo móvil hay unas torres neogóticas que soportan una pasarela superior que sirve para dar paso a los peatones con el puente abierto y para compensar los tramos colgados asimétricos laterales, cuya estructura resistente es rígida. Su singularidad hace de este puente una de las estampas más típicas de Londres, y el puente móvil más conocido del mundo. Este puente, con 100 años de vida, sigue todavía en servicio, aunque la maquinaria ha sido renovada en varias ocasiones; la última vez en 1972.



Puente de la Torre de Londres

Levadizos

Un puente levadizo es un tipo de puente móvil que se puede levantar con la ayuda de una instalación mecánica para así permitir la entrada a través de un portón, o bien para permitir el tráfico marítimo a través de un cuerpo de agua. La parte que se mueve se gira a través de un eje horizontal o a modo de bisagra.



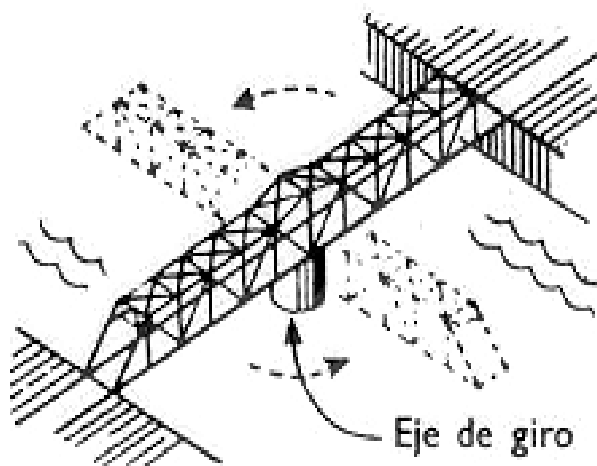
Puente Dffenébrücke en Mannheim, Alemania



Puente de Erasmus en Rotterdam

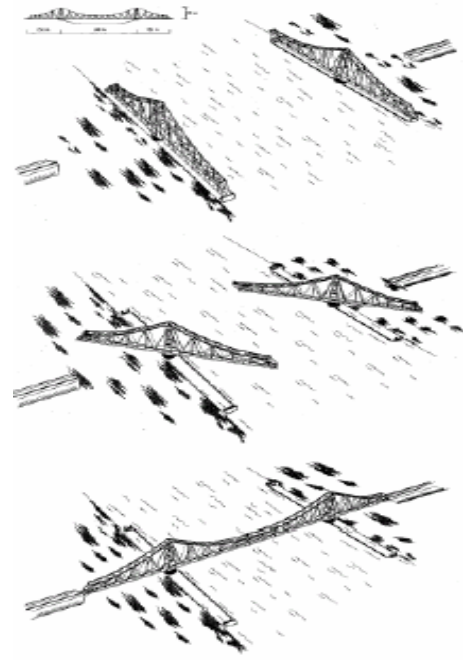
Giratorios

En los puentes giratorios de eje vertical caben dos posibilidades de apertura: o bien girar dos vanos simétricos sobre una pila situada en el centro del canal de navegación, aunque en algún caso excepcional puede estar situada en un borde; o bien girar dos semivanos con sus compensaciones, sobre dos pilas situadas en los bordes del canal. La maquinaria para el giro es siempre parecida; consiste en una cremallera circular sobre la que se mueve un piñón al que se aplica la fuerza motriz. El movimiento del piñón por la cremallera circular es lo que hace girar el puente. Generalmente toda la maquinaria está alojada en una gran pila circular. La estructura de la mayoría de los puentes giratorios de dos vanos simétricos es una viga continua de dos vanos con el puente cerrado, y un doble voladizo con el puente abierto.



Giratorio

Vano simétrico sobre pila



Giro dos semivanos

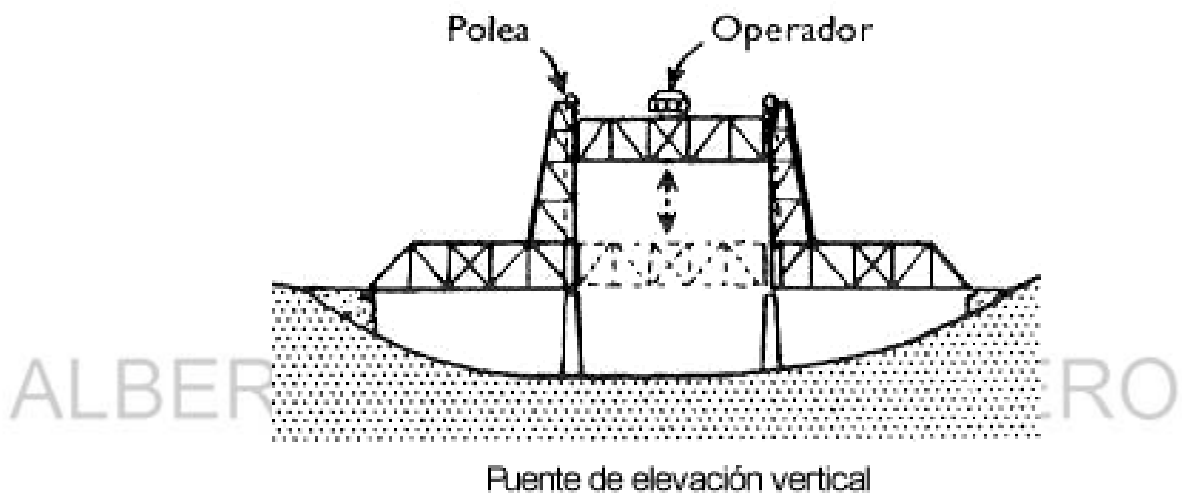
El puente de Firdan sobre el canal de Suez en Egipto, es también de dos semivanos compensados, tiene 168 m de luz y es el mayor puente giratorio del mundo.



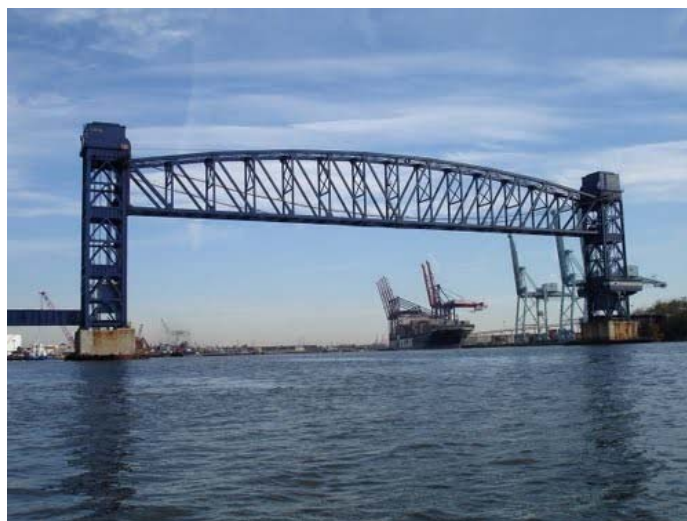
De desplazamiento vertical

Los puentes de desplazamiento vertical son tableros simplemente apoyados, cuyos apoyos se pueden mover verticalmente para elevarlos a la cota que requiere el gálibo de navegación. Normalmente se elevan tirando de sus cuatro esquinas, y por ello requieren dos o cuatro torres, en las que se aloja la maquinaria de elevación y los contrapesos necesarios para equilibrarlos durante la maniobra de desplazamiento vertical. En algún puente de pequeña luz se han evitado las torres y los contrapesos, accionándolo mediante gatos hidráulicos situados bajo el tablero, y por ello, a puente cerrado nada evidencia su condición de móvil.

El puente de desplazamiento vertical es adecuado y resulta más económico que los demás para luces grandes y por ello los mayores puentes móviles son de este sistema.



El mayor de todos ellos es el Arthur Kill cerca de Nueva York, de 170 m de luz, y un gálibo de navegación de 41 m con el puente levantado; se terminó en 1959 y sustituyó a uno giratorio dos vanos de 76 m de luz

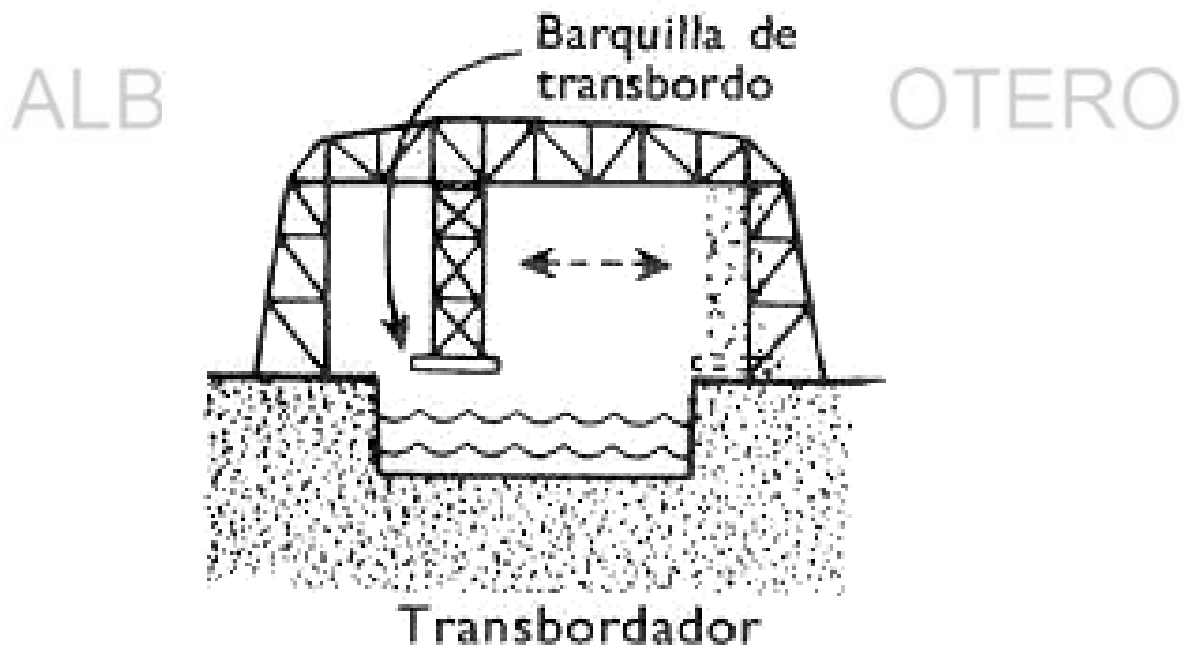


Puente Transbordador

Un puente transbordador consiste en una viga fija, situada a la altura requerida por el gálibo, de la que se cuelga una plataforma móvil, generalmente mediante cables, que transporta los vehículos de una orilla a la opuesta; con esta solución se puede llegar a luces análogas a los puentes colgantes porque no se plantean problemas en la estructura fija, diferentes a los de los puentes normales. Este tipo de puentes son más económicos que un puente convencional para un mismo gálibo para el tráfico marítimo.

Los puentes transbordadores han estado y estarán siempre unidos al nombre del ingeniero francés Ferdinand Arnodin, porque fue el primero que patentó la idea, e intervino en la mayoría de los que se han construido. Sin embargo, realmente, quien inició este sistema fue el arquitecto español A. del Palacio en el transbordado sobre la ría del Nervión en Portugalete, cerca de Bilbao.

El puente transbordador es una forma diferente al móvil de resolver el conflicto que plantean dos corrientes de tráfico incompatibles: un tráfico de vehículos entre dos orillas situadas a poca altura sobre el agua, y un tráfico de barcos en el río o ría a salvar, que requiere un gálibo de navegación de gran altura. La solución que se ha utilizado normalmente para resolver este problema es el puente móvil de cualquiera de los tipos ya estudiados, pero si la luz es muy grande esta solución puede resultar difícil o imposible de hacer, y por ello surgieron los transbordadores.



En todo el mundo se conservan 8 ejemplares de los 20 que se construyeron, 3 de ellos en Reino Unido, concretamente en (Newport, Middlesbrough y Warrington), dos en Alemania (entre Osten y Hemmoor y entre Osterrönfeld y Rendsburg), uno en Francia (Rochefort), el Puente Transbordador Nicolás Avellaneda en el barrio bonarense de La Boca y finalmente el puente de Vizcaya, entre Portugalete y Guecho. Este último, que data de 1893, y aún está en servicio, es el más antiguo del mundo y, desde 2006, Patrimonio de la humanidad de la UNESCO.



Puente de Vizcaya

Deslizantes (retractable o de desplazamiento horizontal)

Un puente retractable, deslizante o de desplazamiento horizontal es un puente móvil con una calzada que se mueve en sentido horizontal. La calzada se retira en dirección longitudinal para dejar paso a los navíos. Este tipo de puentes pueden encontrarse en Suecia y Noruega. Un ejemplo es el Ultunabron al sur de Uppsala en Suecia. Recientemente se ha construido en el puerto de Cardiff un puente de este tipo con una luz entre apoyos de 30,5 m y una compensación de 14 m; el voladizo de 30,5 m que se produce durante el movimiento, se equilibra con un relleno de hormigón alojado en las prolongaciones de las vigas laterales metálicas en cajón que soportan el puente. El movimiento se hace elevando el puente mediante gatos y trasladándolo sobre ruedas.



Calzada sobre rodillos del puente retractable en Uppsala

Flotantes

Se apoyan sobre flotadores que pueden tener diversos tamaños. Consisten fundamentalmente en un tablero apoyado sobre una serie de elementos flotantes que sirven para mantenerlo en una situación más o menos fija. Estos elementos flotantes son muy variados tales como barcas, pontones cerrados, etc. Los primeros puentes flotantes fueron de odres o barcas y datan del Siglo V antes de Cristo. Ya desde esta fecha a nuestros días se vienen utilizando este tipo de puentes flotantes en ríos profundos o donde resulta difícil cimentar.



4.FUNCIONAMIENTO MECÁNICO

PUENTES RECTOS O DE VIGAS

Un puente recto está constituido por una estructura de viga continua o losa continua. Se emplean vigas en forma de "I", en forma de caja hueca, etcétera. Se emplean en vanos cortos e intermedios.

Están formados fundamentalmente por elementos horizontales que se apoyan en sus extremos sobre soportes o pilares. Mientras que la fuerza que se transmite a través de los pilares es vertical y hacia abajo y, por lo tanto, éstos se ven sometidos a esfuerzos de compresión, los elementos horizontales tienden a flexionarse como consecuencia de las cargas que soportan. El esfuerzo de flexión supone una compresión en la zona superior de las vigas y una tracción en la inferior.

Los puentes de vigas de hormigón armado o de acero pueden salvar tramos de 20 a 25 m; para distancias superiores se utilizan mucho el acero y el hormigón pretensado y, cuando la longitud es considerable, las vigas son compuestas. Se han construido algunos puentes con vigas de hormigón pretensado, de sección en "I", que salvan tramos de hasta 48 m.

Existen diversas secciones transversales de los elementos horizontales, que pueden ser vigas y losas:

Para secciones de hormigón:

Viga Doble T y viga artesa: son prefabricadas y perfiladas para obtener la máxima inercia con el mínimo peso, se instalan en tramos biapoyados, se le da continuidad con una losa superior.



Viga Artesa

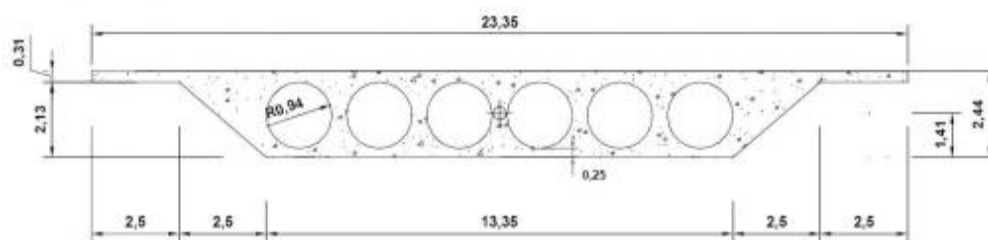


Viga Doble T



Puente de vigas prefabricadas

Losa aligerada: la construcción es in situ (cimbrando vano a vano o mediante autocimbra), tiene mayor facilidad para acomodarse a trazados en planta oblicuos. Nos permiten tener un único punto de apoyo las losas, y el tamaño de las pilas y su colocación es mucho menos exigente que en los de vigas. Como inconveniente su construcción es menos industrializada que los de vigas.



Cajón o Dovelas: son puentes contruidos vano a vano de unos 40 metros. También se construyen por empuje (cajón de canto constante).

Cajón prefabricado: se le da continuidad estructural y después se realiza la losa.



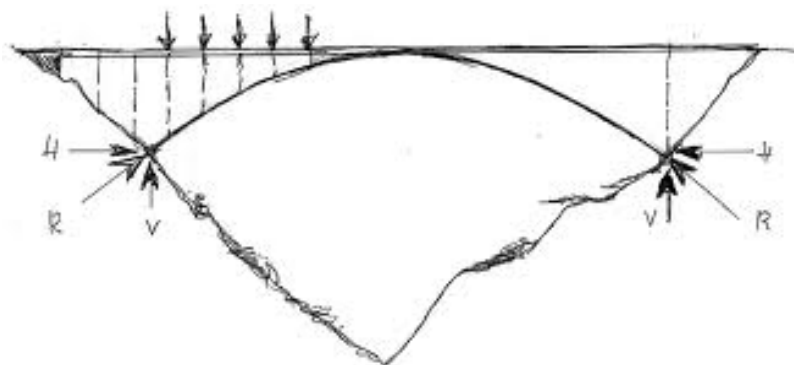
Para secciones de acero

Se utilizan vigas doble T y secciones cajón

PUENTES ARCO

Un puente de arco es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas. Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Se transmiten unas reacciones horizontales a los apoyos y, en consecuencia, el terreno de cimentación ha de ser capaz de resistir tales esfuerzos.

Cuando la distancia a salvar es grande pueden estar hechos con una serie de arcos, aunque ahora es frecuente utilizar otras estructuras más económicas. El rango óptimo está comprendido entre 60 y 200 metros.



El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes.

Se pueden clasificar en:

Arco con Tablero Superior



Puente de acero 'María Pía', (Oporto), Gustavo Eiffel, 1887. Longitud del vano central: 160 m.



Viaducto de hormigón de Teruel

Arco con Tablero Intermedio



Puente de Fremont, Portland (USA), 1973.
Longitud del vano: 383 m.



Puente Lupu en Shangay es le puente arco mas grande del mundo inaugurado el 28 junio 2003

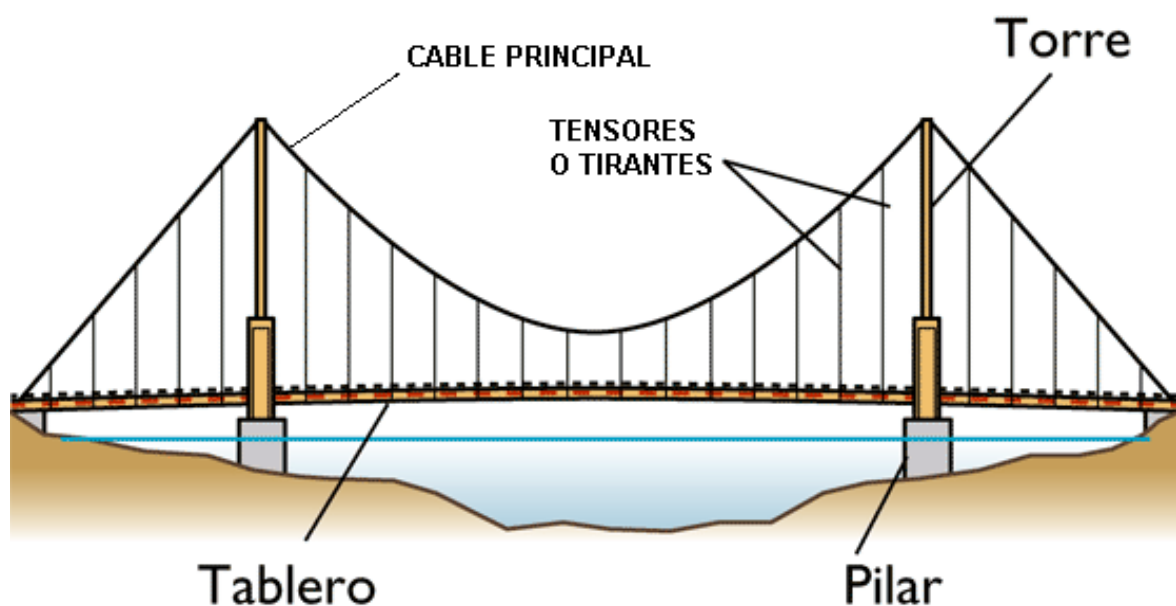
Arco con Tablero Inferior (Bow-String)



Puente de Tangermünde sobre el Elba, (Alemania), F. Leonhardt.
Longitud del vano: 185 m.

PUENTES COLGANTES

Un puente colgante es un puente sostenido por un arco invertido formado por numerosos cables de acero (cable principal), del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales. El puente colgante es, igual que el arco, una estructura que resiste gracias a su forma; en este caso salva una determinada luz mediante un mecanismo resistente que funciona exclusivamente a tracción, evitando gracias a su flexibilidad, que aparezcan flexiones en él. Las fuerzas principales en un puente colgante son de tracción en los cables principales y de compresión en los pilares. Todas las fuerzas en los pilares deben ser casi verticales y hacia abajo, y son estabilizadas por los cables principales. El rango óptimo es partir de 350m.



El cable principal es un elemento flexible, lo que quiere decir que no tiene rigidez y por tanto no resiste flexiones. Si se le aplica un sistema de fuerzas, tomará la forma necesaria para que en él sólo se produzcan esfuerzos axiales de tracción; si esto no fuera posible no resistiría. Por tanto, la forma del cable coincidirá forzosamente con la línea generada por la trayectoria de una de las posibles composiciones del sistema de fuerzas que actúan sobre él. La curva del cable principal de un puente colgante es una combinación de la catenaria, porque el cable principal pesa, y de la parábola, porque también pesa el tablero; sin embargo la diferencia entre ambas curvas es mínima, y por ello en los cálculos generalmente se ha utilizado la parábola de segundo grado.

Los cables que constituyen el arco invertido de los puentes colgantes deben estar anclados en cada extremo del puente ya que son los encargados de transmitir una parte importante de la carga que tiene que soportar la estructura.

Las torres han sido siempre los elementos más difíciles de proyectar de los puentes colgantes, porque son los que permiten mayor libertad. Por eso en ellas se han dado toda clase de variantes. Las torres no plantean problemas especiales de construcción, salvo la dificultad que supone elevar piezas o materiales a grandes alturas. Las torres de los puentes metálicos se montan generalmente mediante grúas trepadoras ancladas a ellas, que se van elevando a la vez que van subiendo las torres. Las de los puentes de hormigón se construyen mediante encofrados trepadores.

El tablero suele estar suspendido mediante tirantes verticales que conectan con dichos cables y se usan estructuras de acero reticuladas para soportar la carretera.

Las ventajas de los puentes colgantes son:

- El vano central puede ser muy largo en relación a la cantidad de material empleado, permitiendo comunicar cañones o vías de agua muy anchos
- Pueden tener la plataforma a gran altura permitiendo el paso de barcos muy altos
- No se necesitan apoyos centrales durante su construcción, permitiendo construir sobre profundos cañones o cursos de agua muy ocupados por el tráfico marítimo o de aguas muy turbulentas. Siendo relativamente flexible, puede flexionar bajo vientos severos y terremotos, donde un puente más rígido tendría que ser más fuerte y duro.

Los inconvenientes

- Al faltar rigidez el puente se puede volver intransitable en condiciones de fuertes vientos o turbulencias, y requeriría cerrarlo temporalmente al tráfico. Esta falta de rigidez dificulta mucho el mantenimiento de vías ferroviarias.
- Bajo grandes cargas de viento, las torres ejercen un gran momento en el suelo, y requieren una gran cimentación cuando se trabaja en suelos débiles, lo que resulta muy caro.



Golden Gate Bridge, uno de los más famosos, y récord de longitud del vano central durante muchos años



Gran Puente del Estrecho Akashi Kaikyō. Tiene una longitud de 3.911 m y su vano central de 1.991 m es actualmente el más largo del mundo

PUENTES ATIRANTADOS

Los elementos fundamentales de la estructura resistente del puente atirantado son los tirantes, que son cables rectos que atirantan el tablero, proporcionándoles una serie de apoyos intermedios más o menos rígidos.

Pero no sólo ellos forman la estructura resistente básica del puente atirantado; son necesarias las torres para elevar el anclaje fijo de los tirantes, de forma que introduzcan fuerzas verticales en el tablero para crear los pseudo-apoyos; también el tablero interviene en el esquema resistente, porque los tirantes, al ser inclinados, introducen fuerzas horizontales que generalmente se equilibran en el propio tablero porque su resultante, igual que en la torre, debe ser nula.. Por todo ello, los tres elementos, tirantes, tablero y torres, constituyen la estructura resistente básica del puente atirantado

En cuanto a la tipología, el puente atirantado admite variaciones significativas, tanto en su estructura como en su forma

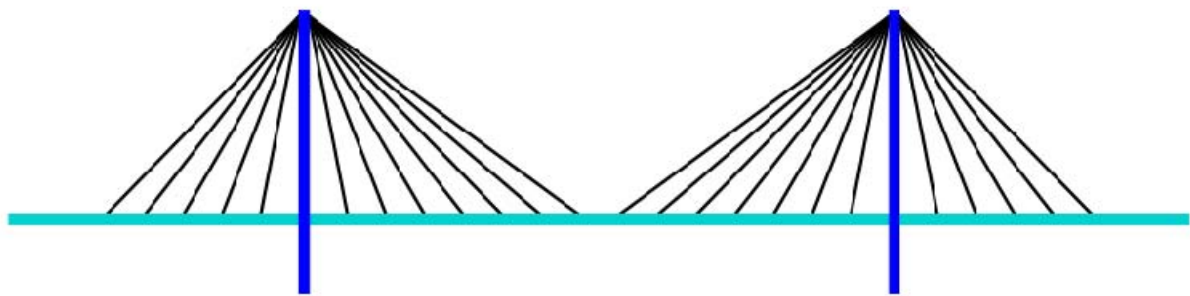
- A) Longitudinalmente pueden tener dos torres y ser simétricos, o una sola torre desde donde se atiranta todo el vano principal
- B) Pueden tener dos planos de atirantamiento situados en los bordes del tablero, o un solo plano situado en su eje
- C) Pueden tener muchos tirantes muy próximos, o pocos tirantes muy separados
- D) Los tirantes paralelos llamado disposición en arpa y tirantes radiales, en abanico.
- E) Las torres se pueden iniciar en los cimientos, o se pueden iniciar a partir del tablero, de forma que el conjunto tablero-torres-tirantes se apoya sobre pilas convencionales
- F) Las torres pueden tener diversas formas; pueden estar formadas por dos pilas, por una sola, pueden tener forma de A, forma de H, de Y invertida, de A, de A cerrada por la parte inferior (diamante), una sola pila



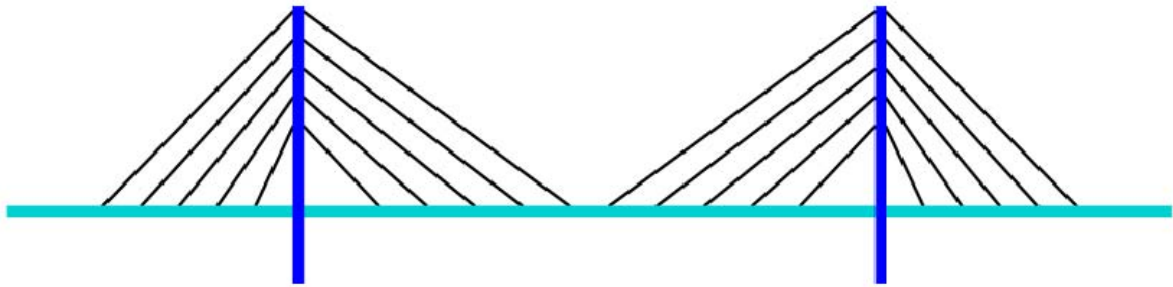
Una sola torre desde donde se atiranta todo el vano principal



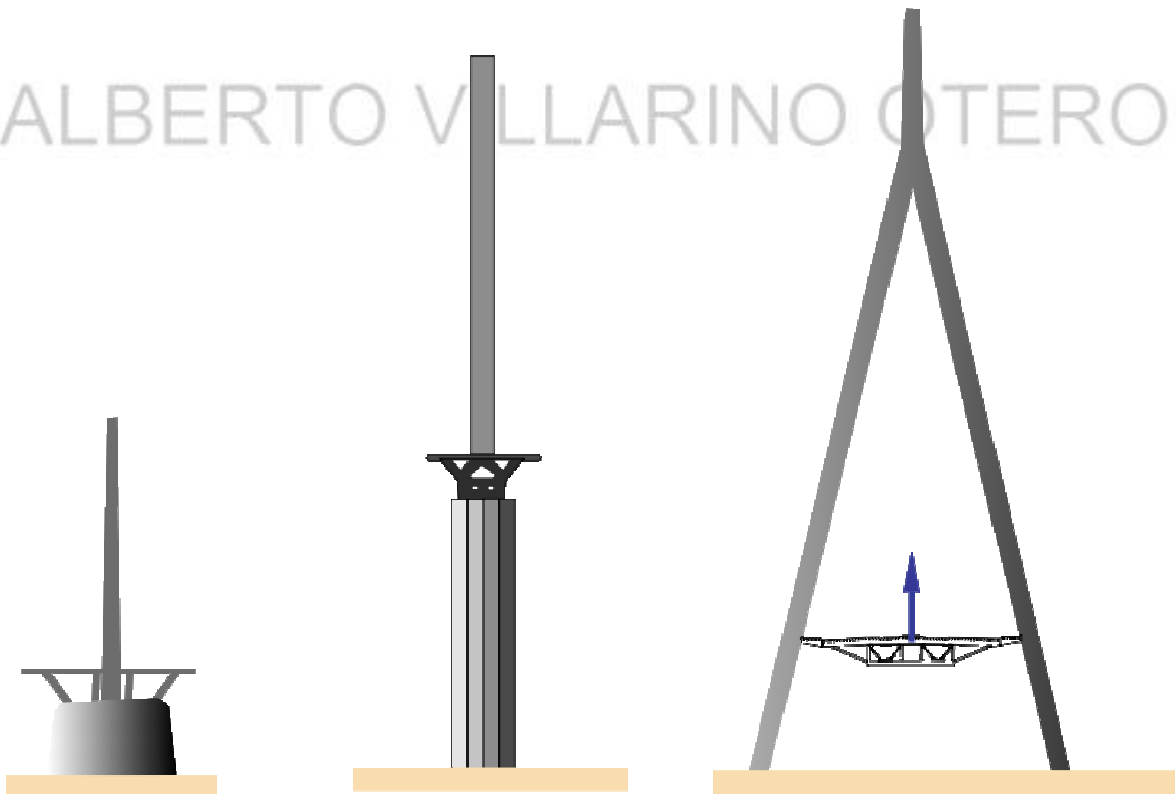
Dos torres en el Embalse de Barrios de Luna



Puente atirantado, diseño en abanico



Puente atirantado, diseño en arpa



Diferentes tipos de torres para puente atirantado

Los puentes atirantados, sobre todo si tienen varias torres, pueden parecer muy parecidos a los colgantes, pero no lo son. En la construcción, en un puente colgante se disponen muchos cables de pequeño diámetro entre los pilares y los extremos donde se anclan al suelo o un contrapeso, estos cables, son la estructura primaria de carga del puente. Después, antes de montar el tablero, se suspenden cables del cable principal, y más tarde se monta este, sosteniéndolo de dichos cables, para ello, el tablero se eleva en secciones separadas y se instala. Las cargas del tablero se transmiten a los cables, y de este al cable principal, y luego, a las torres, los contrapesos de los extremos, reciben una gran fuerza horizontal.

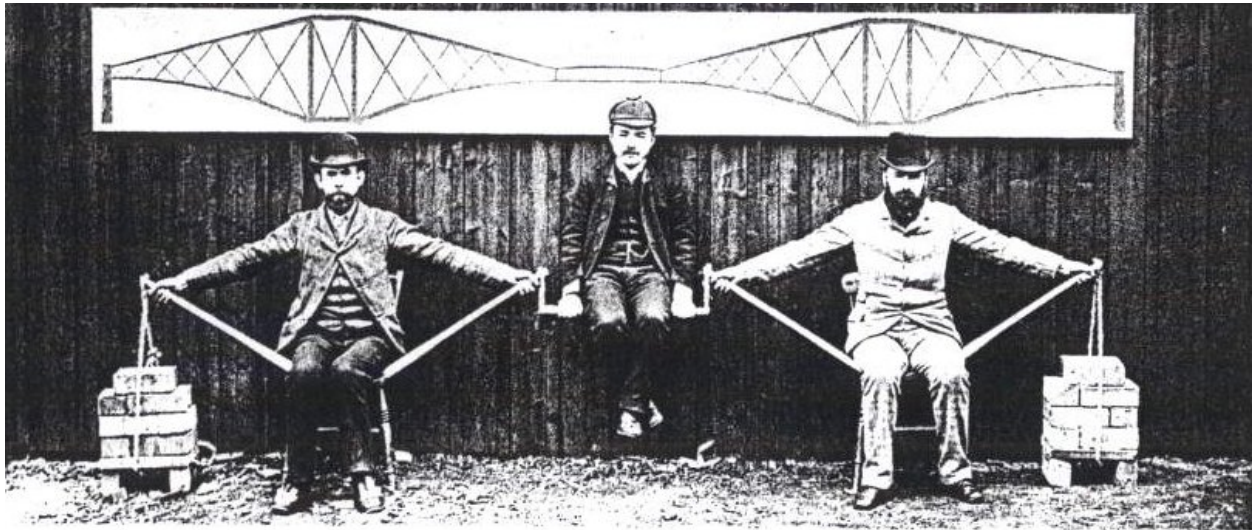
En los puentes atirantados, las cargas, se transmiten la torre o pilar central a través de los cables, pero al estar inclinados, también se transmiten por la propia sección, hasta el pilar, donde se compensa con la fuerza recibida por el otro lado, no con un contrapeso en el extremo, por ello, no requieren anclajes en los extremos.

PUENTE CANTILEVER (EN MÉNSULA O VOLADIZO)

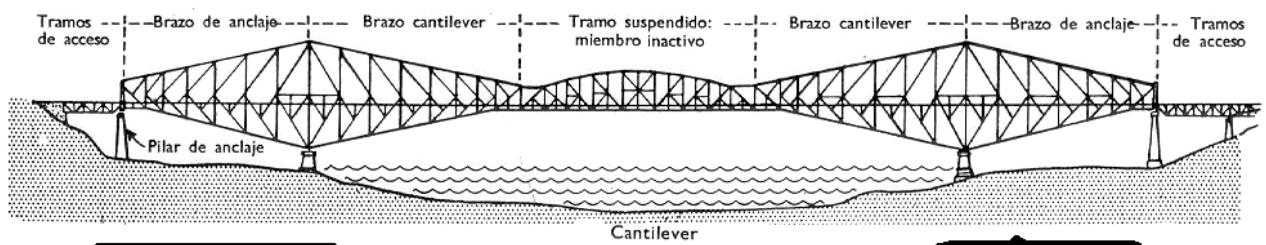
Tienen especial aplicación en tramos muy largos. Reciben su nombre de los brazos voladizos (cantiléver) que se proyectan desde las pilas. Los brazos voladizos también pueden proyectarse hacia las orillas para sustentar los extremos de dos tramos suspendidos. Es posible realizar combinaciones variadas como las que incorpora el puente del Forth, ya que pueden utilizarse todos los sistemas de armaduras a excepción de la Howe.

El principio del puente cantiléver puede aplicarse fácilmente a los puentes de armadura de acero y tablero superior. Existen viaductos de hormigón armado o de vigas armadas metálicas en cantiléver; puentes de armadura de hierro que combinan el principio cantiléver con el arco para formar el sistema conocido con el nombre de puente de arco cantiléver. El arco puede estar articulado en las pilas; en tal caso se asemeja a un puente de doble articulación, que puede convertirse en triple añadiendo otra articulación a la clave. El puente de Firth of Forth construido por John Fowler y Benjamín Baker entre los años 1881 y 1890 sobre el estuario del Forth cerca de Edimburgo inicia la estirpe de puentes complejos con más de un vano principal

La famosa fotografía de Benjamín Baker, en la que un modelo vivo figuraba el principio de voladizos en que se basa la solución al puente sobre el Forth. Cuando se pone una carga en la viga central, sentándose una persona en ella, los brazos de los hombres y los cuerpos de los hombres, de hombros abajo y los bastones entran en compresión. Las sillas representan las pilas de granito.



Fotografía Benjamin Baker



Partes de un puente Cantiléver

ALBERTO VILLARINO OTERO



El Puente de Forth, es un puente en ménsula para ferrocarril que atraviesa el Fiordo de Forth, en el este de Escocia 14 km del centro de Edimburgo

7.3 PROCEDIMIENTOS CONSTRUTIVOS

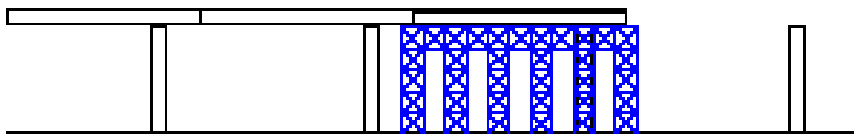
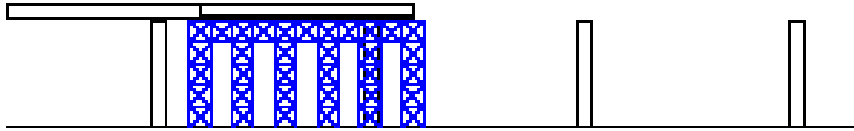
PUENTES DE VIGAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN O LOSAS ARTESA

Cada viga o losa se monta directamente, mediante el empleo de gruas, entre dos pilas y se colocan a una cierta distancia, constituyendo el soporte de la losa de hormigón que forma el tablero del puente.

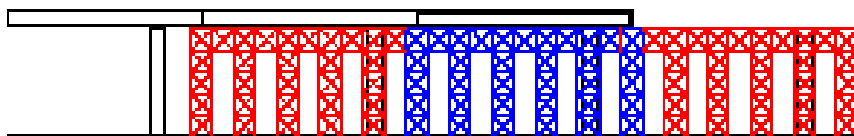
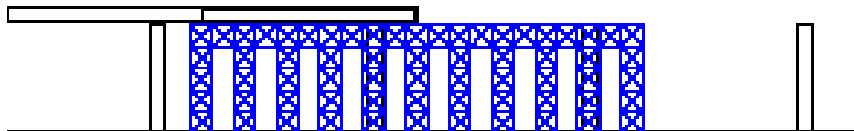


Construcción con Cimbra Estática

Para puentes de pequeña altura (8-10m) hormigonados in situ. Ideal para pasos superiores. En caso de varios vanos la construcción se hace tramo a tramo. Una vez hormigonado un tramo se pretesa, descimbra y desencofra y se pasa al tramo siguiente



Un equipo de cimbra y un encofrado

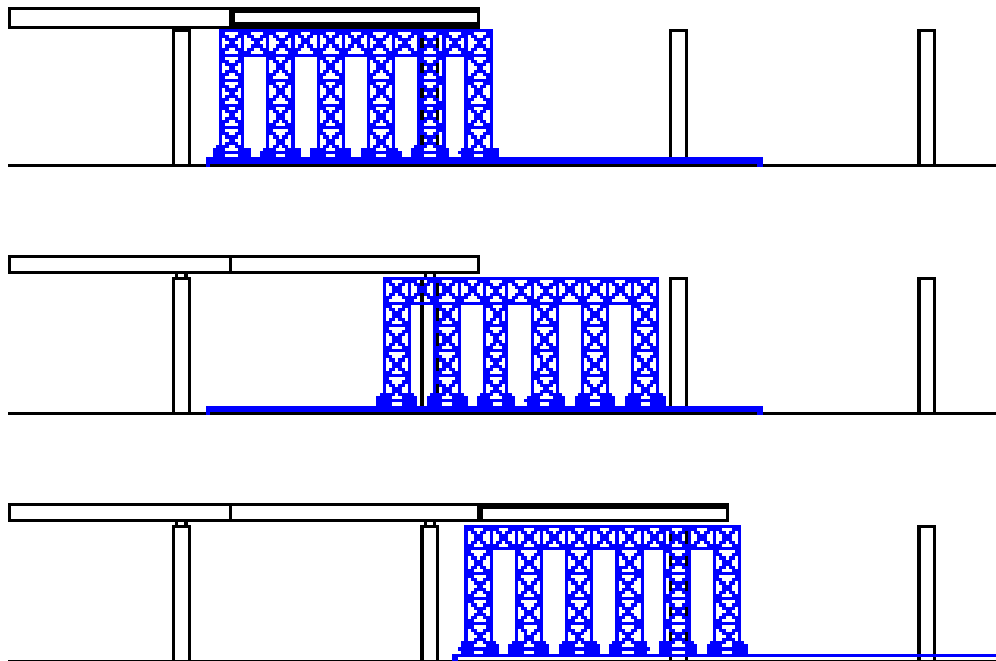


Dos equipos de cimbra y un encofrado



Construcción con Cimbra Desplazable

Igual que le caso anterior pero ahora la cimbra se puede desplazar sobre elementos de rodadura



Movimiento de la cimbra y del encofrado sobre carril de rodadura inferior

Cimbras Autoportantes o Autocimbras

Equipo de trabajo formado por una viga de lanzamiento que permite la ejecución de tableros de hormigón en puentes y viaductos de gran altura, con vanos de gran longitud, mediante un proceso constructivo autolanzable y sin necesidad de apoyarse en el terreno.



Avance en Voladizo

El tablero se apoya en unos puntos fijos, a partir de los cuales se establece una progresión e la construcción de manera que se determine las estructuras parciales en voladizo autoportantes o ayudadas por elementos auxiliares, este procedimiento se puede llevar acabo mediante carro de avance o mediante vigas autolanzables.



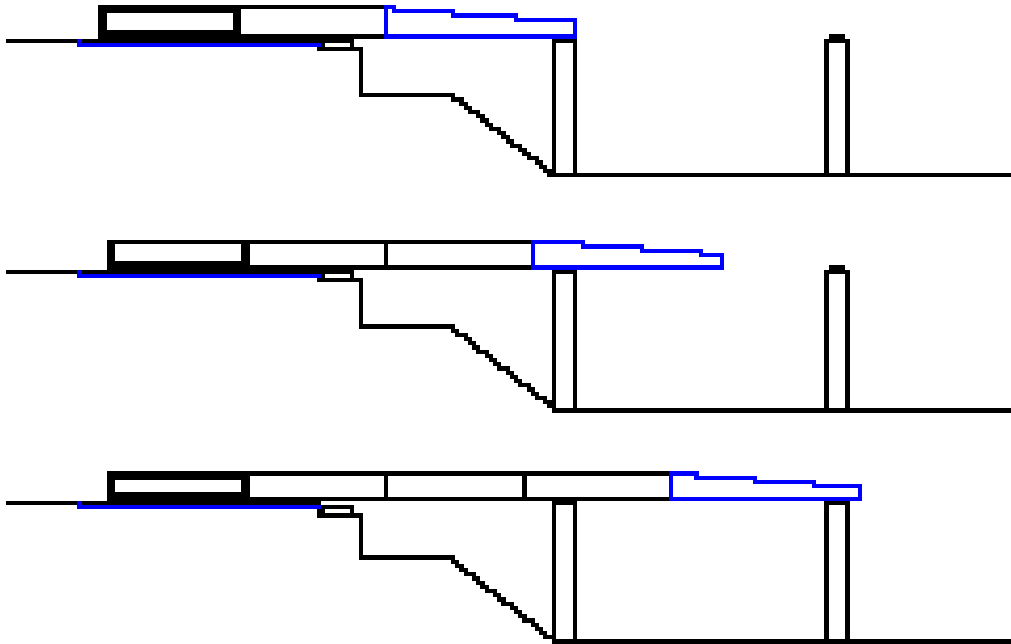
Carro de avance



Carro de avance

Puente Empujados

Necesitan tener en planta un trazado recto o circular. Su fundamento económico reside en tableros que tengan optimizado el consumo de hormigón y en preparar un parque de fabricación fijo, en el eje del puente, donde se realizan las dovelas de 15 a 20 metros. Una vez endurecido y pretensado el hormigón se empuja hacia delante por medio de gatos, con lo que se libera el molde para realizar una nueva dovela.,el puente va discurriendo sobre las pilas, hasta su terminación, sin necesidad de cimbra que lo soporte. En el caso de tableros metálicos o mixtos el procedimiento es el mismo.



PUENTES ARCO

Únicamente se comentarán los siguientes procesos:

Construcción con Cimbra Estática



Vista general de cimbra y andamiaje



Detalle de sección en cajón del arco



Detalle de cimbra y encofrados

Avance en Voladizo con Rigidización por Tirantes



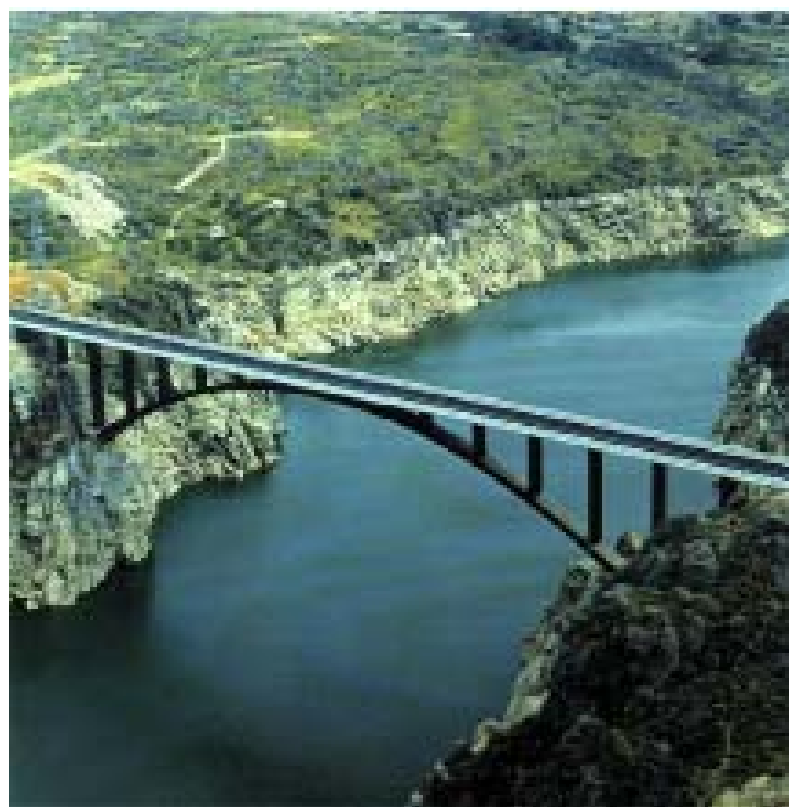
Imagen de medio arco en voladizo con los tirantes a tracción



Imagen de los dos voladizos y la viga de lanzamiento de dovelas



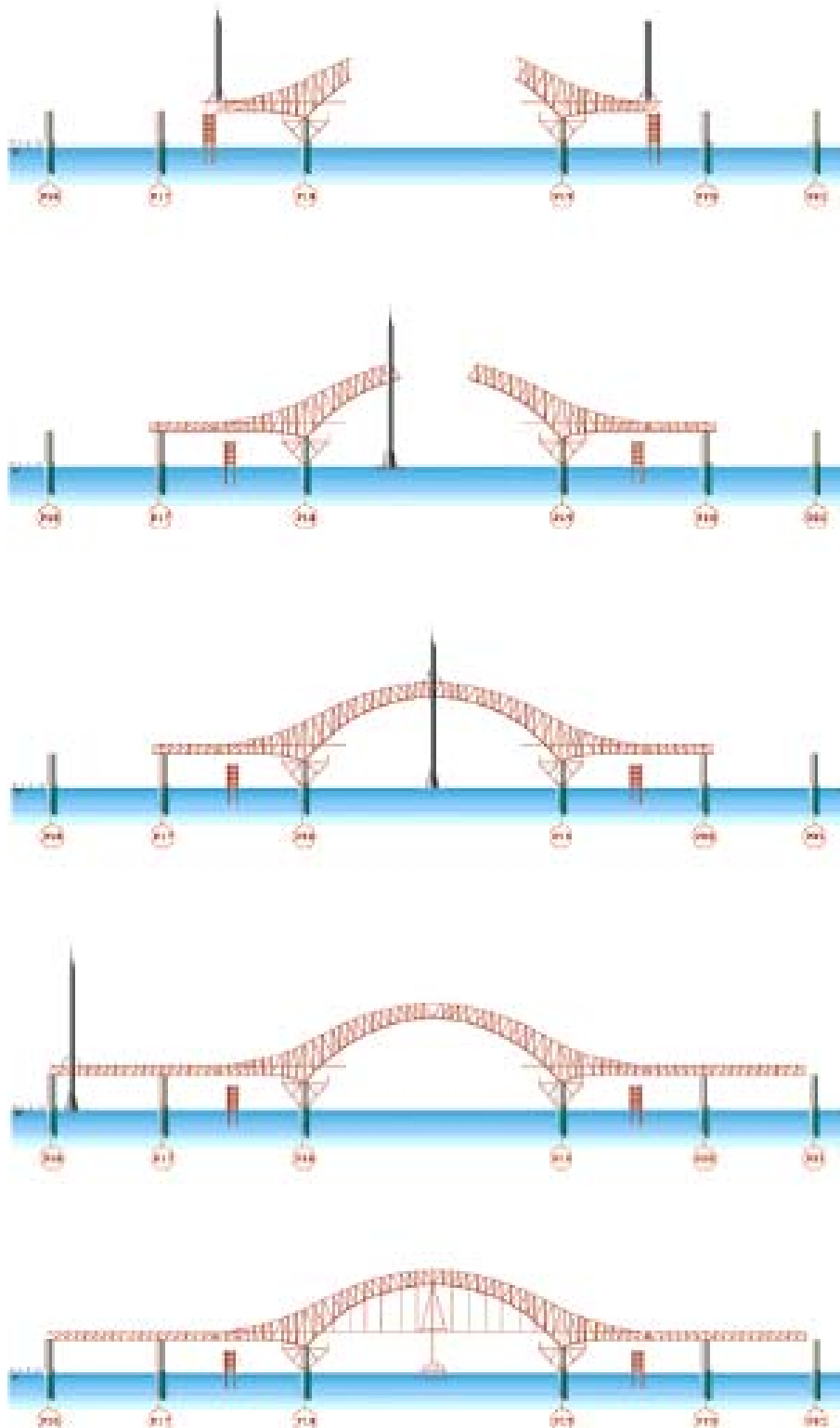
Lanzamiento y colocación de dovela del arco



Puente finalizado Arco de Ricobayo. Longitud del vano: 168 m.

Construcción del Arco con Voladizos Compensados

Esquema de etapas de la construcción



RO



Colocación de dovelas del arco



Colocación de la dovela central del arco



Construcción de vanos de aproximación



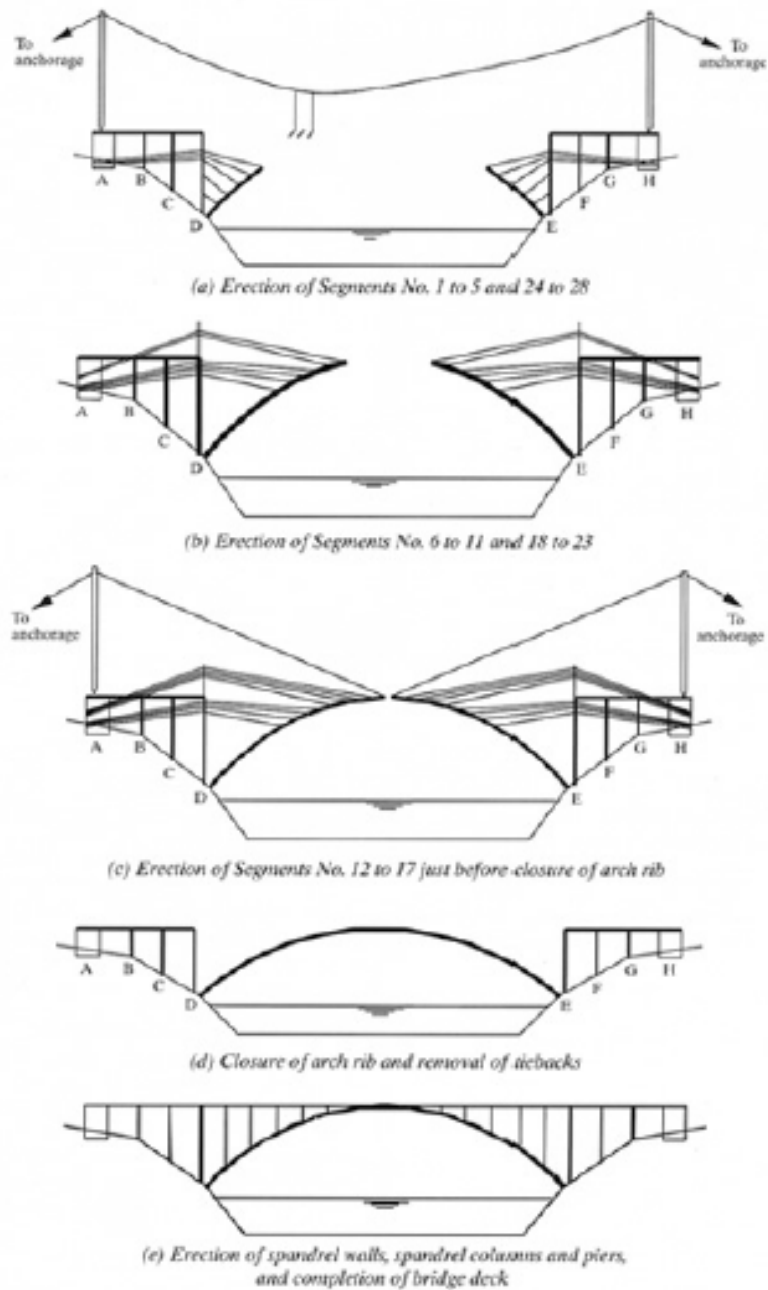
Colocación del tablero y los tirantes



Puente Yeongjang, Corea del Sur. Longitud del vano: 180 m.

Construcción del Arco con Estabilización por Tirantes

Esquema de las fases de construcción





Construcción del arco. Obsérvese la sección de hormigón del arco en cajón



Imagen del arco durante la construcción

PUENTE COLGANTE

Las principales fases del proceso constructivo son:

1.Construcción de las Torres y Contrapesos: Por lo que se refiere a la construcción de las torres se montan generalmente mediante grúas trepadoras ancladas en ellas que se van elevando a la vez que van subiendo las torres. En cuanto a los contrapesos tampoco plantean especiales problemas. Su dificultad radica simplemente en la precisión que requiere la colocación de las piezas metálicas que sirven de anclaje a las piezas que forman el cable

2.Montaje de los Cables Principales: Es la fase de mayor complejidad pues es la tarea básica. Para montar los cables principales generalmente se lanzan primero unos cables auxiliares que sustenten los cables principales durante la fase de construcción.



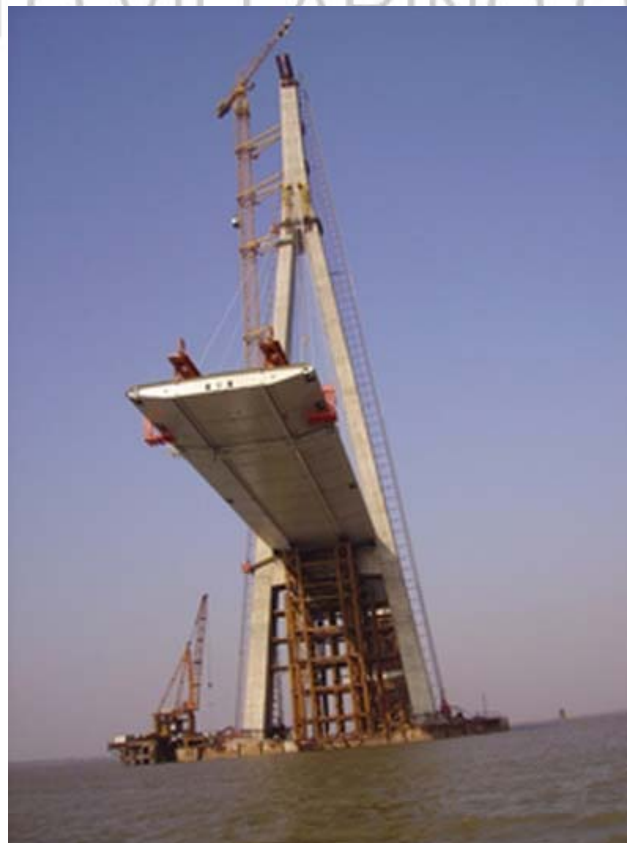
3.Montaje del Tablero: Generalmente se realiza por voladizos sucesivos avanzando la ménsula desde un tirante al siguiente, del que se cuelga. El avance se hace simétricamente desde la torre hacia el centro del vano principal y hacia los extremos. Desde el tablero una vez construido se van montando piezas elevándolas mediante grúas situadas sobre él hasta cerrar el tablero en el centro del vano. Otros métodos para el montaje del tablero son la división del tablero en dovelas de sección completa que se llevan por flotación bajo su posición definitiva y se elevan a ella desde los cables principales mediante cabrestantes, una vez situadas en su situación definitiva se cuelgan de los tirantes.



PUENTE ATIRANTADO

Los procesos constructivos más habituales son los siguientes:

Voladizos sucesivos: Es el más conocido y en éste sistema las estructuras parciales que se van generando durante el proceso están atirantadas de la misma forma que el puente completo.



Construcción sobre Apoyos Provisionales

Consiste en construir el tablero completo del puente sobre un sistema de apoyos provisionales antes de atirantarlo. Terminado el tablero se montan los tirantes y se les va dando carga sucesivamente hasta dejar el puente en el aire.

PUENTE CANTILÉVER

Las grandes estructuras cuyo principio es el sistema cantiléver, se construyen por la técnica de voladizos sucesivos, mediante ménsulas consecutivas que se proyectan en el espacio a partir de la ménsula previa.

Un ejemplo de este sistema constructivo es el puente de Quebec (Canadá) que está situado al oeste de la ciudad y cruza la parte inferior del río San Lorenzo. Se comenzó a construir en el año 1904 por Mr Cooper y por errores en el cálculo la parte central del puente se vino abajo en el año 1907. Tras el colapso intervinieron tres ingenieros: Vautelet, un ex ingeniero de la Canadian Pacific Railways, Maurice Fitzmaurice, de Gran Bretaña, que trabajó en la construcción del puente Forth, y Ralph Modjeski de Chicago. El puente se finalizó en agosto de 1917, después de haber sufrido otro accidente en el año 1916.

El puente está realizado con acero, es un puente en ménsula (cantilever) realizado con un sistema de pernos y articulaciones, se construía desde las pilas con elementos de unos veinte metros que venían montados y el tramo central se transportó y se levantó para apoyarlo en su posición definitiva. a secuencia de fotos siguiente (de izquierda a derecha y de arriba abajo) muestra el proceso constructivo.

