



Criterios de evaluación y elementos del curso

EVALUACIÓN

Anteproyecto de un puente para aprobación del curso

- En equipos de 2 personas.
- Entregas parciales:
 - Semana 23/9 al 27/9: Definición geométrica completa de tablero, longitud del puente, posición de juntas y apoyos intermedios. Establecer solicitaciones destacadas para el estudio de la superestructura. Planos y memoria de cálculo.
 - Semana 18/11 al 22/11: Entrega completa. Superestructura e infraestructura. Planos y memoria de cálculo.

Examen obligatorio conseguida la aprobación del curso

OTROS ELEMENTOS DEL CURSO

- Prácticos de ejercitación. Total: 3.
- Ejemplos en clase de casos puntuales.
- Ejercicios en clase con previa preparación en domicilio.
- Indicación de textos de lectura para comentar en clase.

Características generales

Obras de arte especiales: Conjuntos estructurales tales que por sus proporciones y características, requieren proyectos específicos desarrollados por ingenieros calificados, construidos bajo la responsabilidad de profesionales de experiencia y bajo la supervisión constante y adecuada en todas las fases de la construcción.

Obra de paso: Obra de arte especial que permite salvar un obstáculo natural o artificial que está por debajo.

Puente: Obra de paso con trazado por encima de la superficie, que permite vencer obstáculos naturales como ríos, quebradas, canales, entrantes de mar, estrechos de mar, lagos, etc.



Características generales

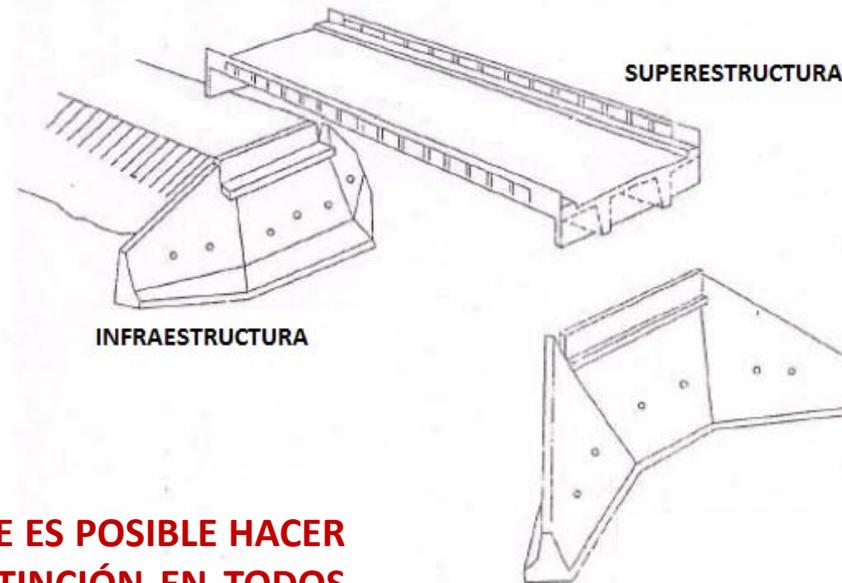
Viaducto: Obra de paso a desnivel sobre un terreno seco o valle, así como sobre otras vías de comunicación terrestres.



Pasarela: es una obra de paso reservada a los peatones, ciclistas o dispuesta para soportar canalizaciones.

Características generales

- **Superestructura:** Es la parte de la estructura que recibe las cargas del tránsito de vehículos o personas y las transmite a los apoyos.
- **Infraestructura:** Está conformada por los pilares (apoyos intermedios) y estribos (apoyos extremos) que soportan directamente la superestructura, y la cimentación encargada de transmitir los esfuerzos al terreno.

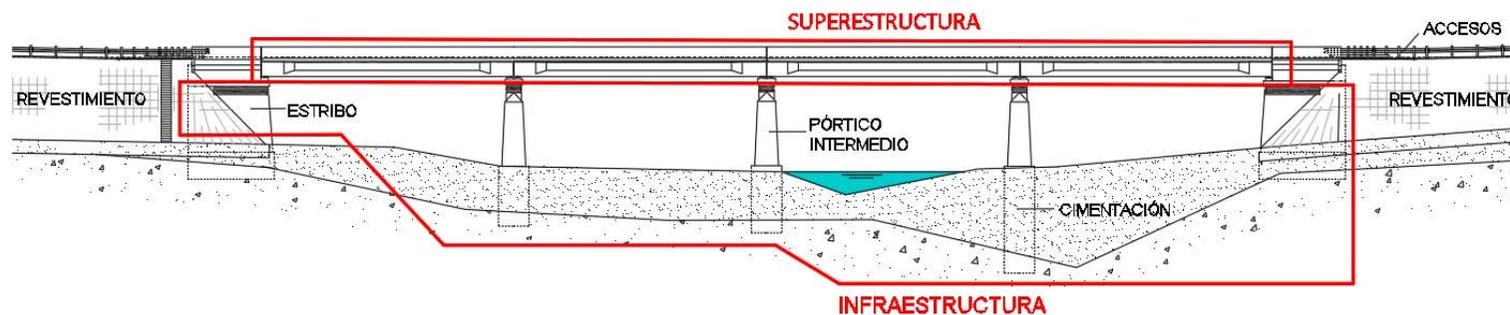


**¿SIEMPRE ES POSIBLE HACER
ESTA DISTINCIÓN EN TODOS
LOS PUENTES?**

Características generales

- **Vano:** Cada uno de los espacios de un puente, comprendido entre dos apoyos consecutivos.
- **Luz:** Distancia horizontal entre ejes de apoyo de un vano.
- **Tablero:** Parte del puente que soporta directamente las cargas debidas al tránsito de vehículos o personas y las transmite a los apoyos intermedios o extremos.
- **Accesos:** Son los terraplenes y elementos que se construyen en las entradas y salidas del puente para brindar continuidad, proporcionar comodidad y seguridad al usuario.
- **Estribos:** Elementos estructurales de la infraestructura ubicados en los extremos del puente configurando sus apoyos extremos. Asimismo, generan apoyo a la transición al pavimento en los terraplenes de los accesos y, según su tipología, resisten total o parcialmente los empujes de dichos terraplenes.
- **Apoyos intermedios:** Elementos estructurales de la infraestructura ubicados en puntos intermedios de un puente de dos o más tramos, para dar apoyo al tablero.

Características generales



Causas que impulsan la construcción de puentes

Abastecimiento de agua

Los acueductos son un conjunto de sistemas de irrigación que permiten transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que está accesible en la naturaleza hasta un punto de consumo distante. Cuando se ha de vencer una fuerte depresión, se recurre a la construcción de **arquerías** que sostienen el canal y lo mantienen al nivel adecuado.



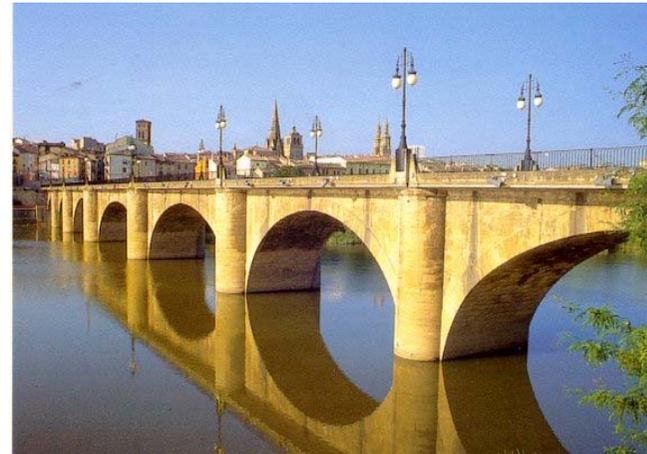
Arquería del acueducto de Segovia de finales del siglo I. Tiene 728 m y la altura máxima es de 30 m.

Causas que impulsan la construcción de puentes

Poder, religión y economía



Durante mucho tiempo, las travesías hacia distintos centros de poder, ciudades comerciales y santuarios implicaron la necesidad de conectarse y salvar obstáculos.



Puente de piedra en Logroño, España

Causas que impulsan la construcción de puentes

Guerras

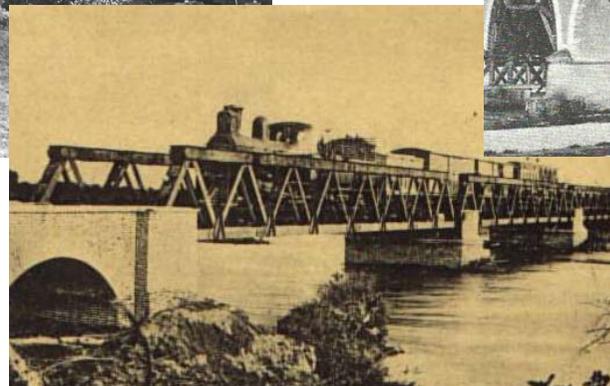
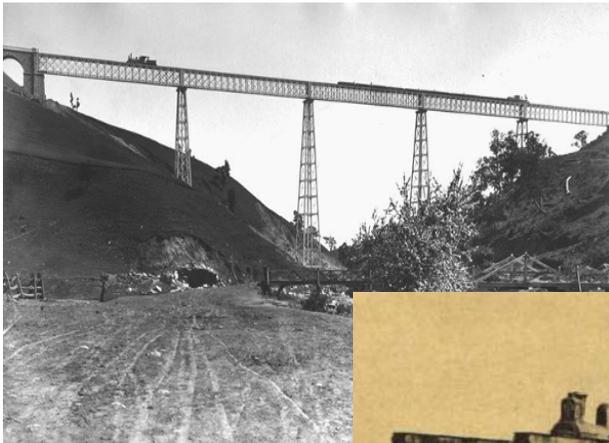
Los puentes en las guerras tienen tal importancia, que prácticamente todos los ejércitos disponen de regimientos de **pontoneros**. Su misión es la construcción de puentes para salvar obstáculos presentes en sus desplazamientos. Asimismo, de ser conveniente militarmente se destruyen.



Causas que impulsan la construcción de puentes

Desarrollo de los sistemas de transporte

El siglo XIX se desarrollan los puentes metálicos, por la aparición del ferrocarril. Apareció el viaducto de gran altura y longitud debido a que los trazados ferroviarios admiten pendientes máximas muy pequeñas y requieren radios grandes en las curvas.



Causas que impulsan la construcción de puentes

Desarrollo de los sistemas de transporte

El automóvil inventado a finales del siglo XIX implicó el desarrollo de la construcción de nuevas carreteras y autopistas adaptadas para su uso, junto con la aparición de innumerables puentes y viaductos de todos los tamaños.



La navegación fluvial también ha necesitado de la construcción de puentes, posibilitando la navegación de barcos sobre ellos. Estos forman parte de largos canales navegables, y son necesarios para salvar depresiones u otras vías de comunicación que se encuentran en su recorrido.



Consecuencias de la construcción de puentes

Unión de ciudades, países y continentes



Puente que unió las ciudades de Buda y Pest en 1839



Puente Oresund (Dinamarca – Suecia)



Puente Bogaziçi (Europa – Asia)

Consecuencias de la construcción de puentes

Progreso del comercio y crecimiento económico

En la Edad Media los puentes tuvieron gran importancia en el desarrollo del comercio y en el crecimiento económico de las ciudades.



Gracias al puente Saint Esprit en Francia y al puerto fluvial, a partir del siglo XIII, los mercaderes y comerciantes, se enriquecieron con el comercio de la sal y los cereales.



El Ponte Vecchio de Florencia desde siempre ha tenido gran actividad comercial sobre él, principalmente joyerías.

Consecuencias de la construcción de puentes

Desarrollo urbano

Pont Neuf en Paris. Su nombre se debe a que fue el primer puente de piedra que se construyó en esa ciudad. Es uno de los 37 puentes que cruzan el río Sena en Paris.

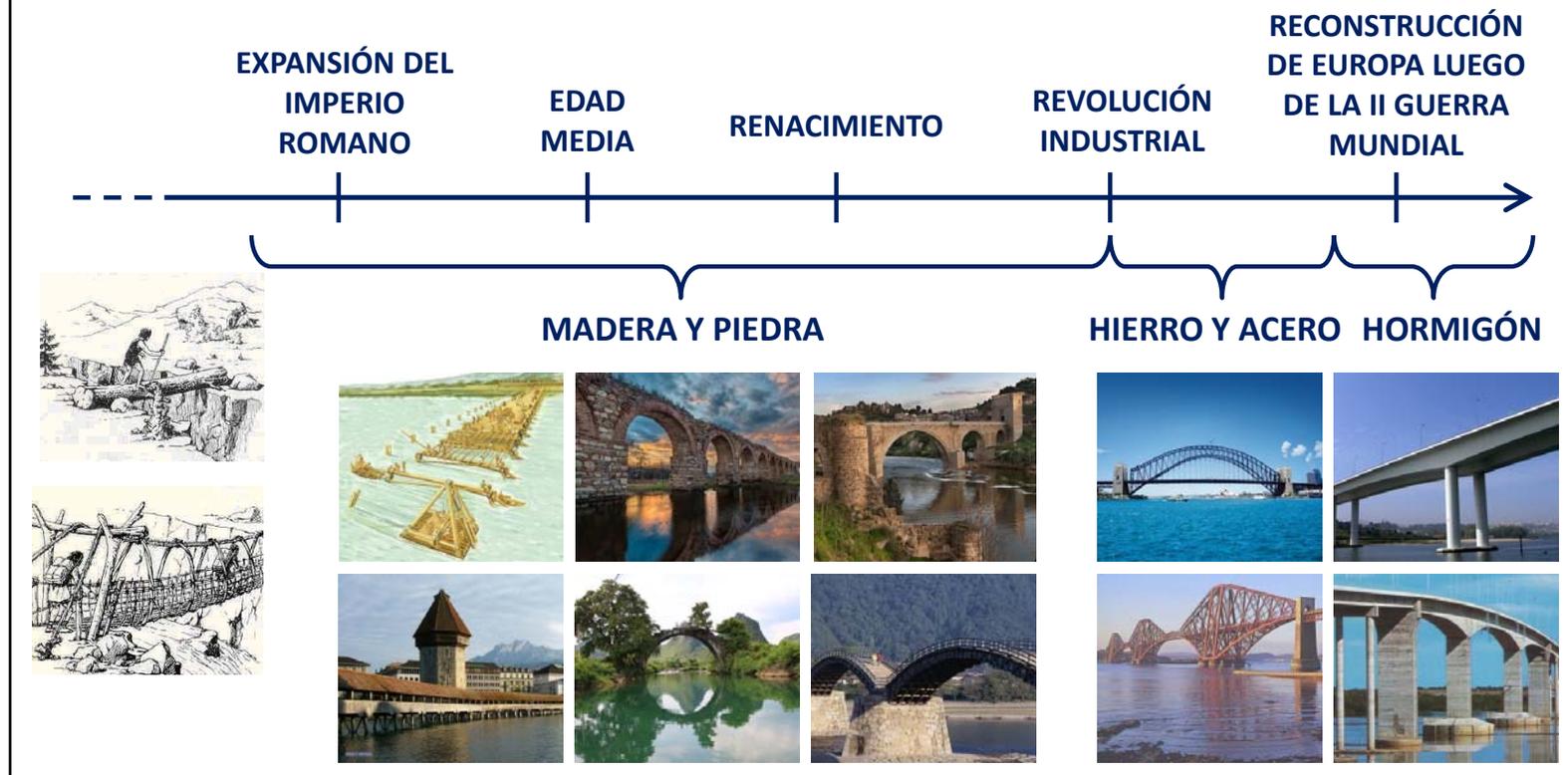


Puente de Carlos IV en Praga. Construido durante el desarrollo urbano de la ciudad en el siglo XIV, permitió unir los núcleos urbanos en ambas márgenes del río Moldava.

Materiales empleados

La evolución de los puentes está marcada por la evolución de los materiales de la construcción.

El desarrollo en la tecnología de construcción de puentes solo puede pasar si tenemos la oportunidad de construir puentes, destacándose ciertos hitos en la historia:



Materiales empleados

Madera



Un tronco de árbol sobre un río fue seguramente el primer puente artificial. Cuando la longitud del tronco no era suficiente, se buscó la solución utilizando piedras y colocándolas en el cauce del río.

El origen del puente puede deberse asimismo al sistema de tender lianas entre los árboles de las márgenes de un río, generando los primeros puentes colgantes.



Materiales empleados

Madera

Con el tiempo, se empezaron a construir estructuras más complejas empleando troncos y ramas que encontraban en las proximidades, haciendo entramados que le permitían salvar mayores longitudes.

Primer problema: Tenían gran número de pilares y escaso espacio entre uno y otro, generando irregularidad en el flujo de las aguas, ocasionando obstrucciones en épocas de crecida. Esto se ve modificado con la aparición del puente en arco.

Ventajas del uso de la madera

- Ligereza → Mayor facilidad de transporte y montaje.
- Económicas.
- Sencillez de las estructuras → Permite salvar obstáculos más amplios.

Desventajas del uso de la madera

- Menos durabilidad y resistencia al fuego.
- Menos resistencia y mayor deformabilidad.

Materiales empleados

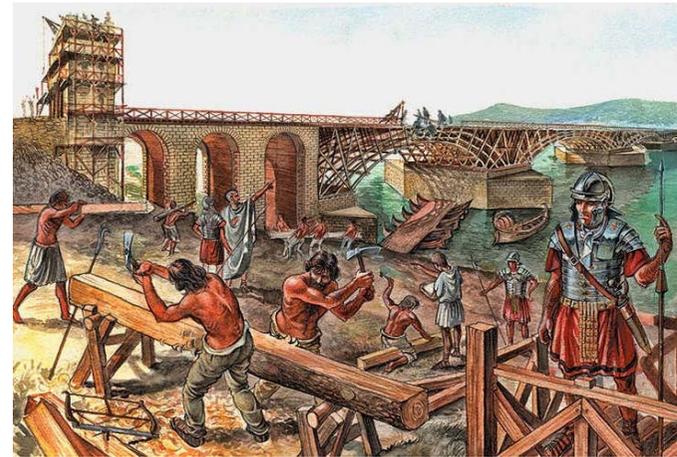
Madera

Imperio romano

Los romanos aprendieron de los etruscos los principios fundamentales de la técnica constructiva de los puentes. Los iniciales estaban contruidos generalmente en el interior o en el radio exterior de las ciudades y tenían una función de gran contenido religioso y ritual.

Características de construcción:

- Voluntad de duración y de permanencia.
- Estética característica (principios de simetría, módulos y proporciones constructivas determinados).
- Funcionalidad muy estudiada.



Puente sobre el río Danubio, construido en el año 104 d.C. por el arquitecto imperial Apolodoro de Damasco. El tablero está construido de arcos de madera, apoyado en estructuras de piedra.

Materiales empleados

Madera

Desarrollo europeo en el Renacimiento



Puente de La Capilla en Lucerna (Kapellbrucke), con más de 200 metros de longitud, data del siglo XIV.

Puente de Bassano del Grappa de Andrea Palladio, construido en el siglo XVI, tiene una estructura clásica de jabalcones, apoyados sobre pilotes de madera hincados en el fondo del río. El puente está cubierto en toda su longitud.

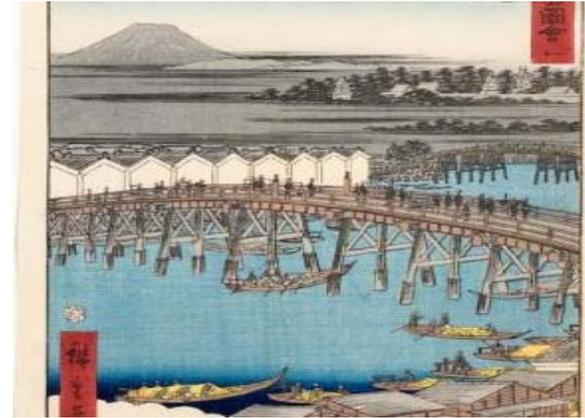


Materiales empleados

Madera

Imperio japonés

Puente Nihonbashi (1603) fue el punto de origen de las cinco principales carreteras de Japón. El puente fue destruido por terremotos y guerras en varias ocasiones, pero siempre fue reconstruido.

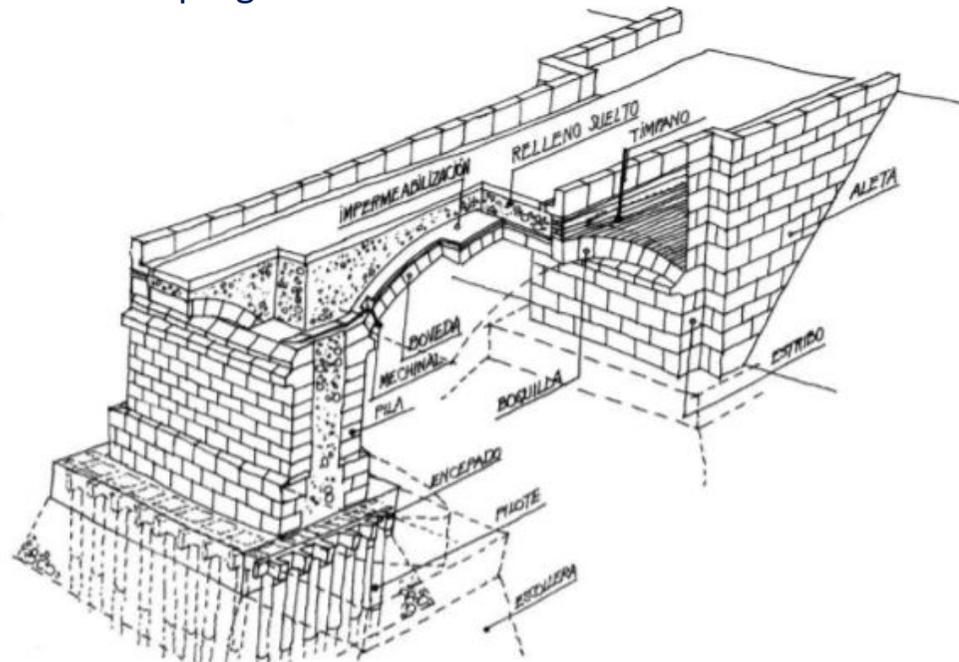
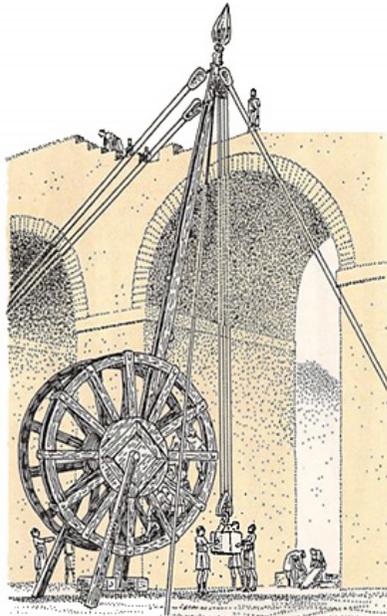


Puente Kintai en Iwakuni, Japón (1673) fue reconstruido en 1953. Su estructura típica oriental, consta de 5 arcos de madera rebajados de 40 m cada uno sobre pilas de piedra, donde la plataforma del camino es el propio trasdós del arco.

Materiales empleados

Piedra

Los puentes de piedra con seguridad se iniciaron y desarrollaron con los romanos. Mientras que los puentes de mayor antigüedad presentaban un solo arco y obedecían una simple función militar, inmediatamente después de la realización de estas obras de utilidad pública intervino una precisa intención estética, y el número y las luces de los arcos va aumentando progresivamente.

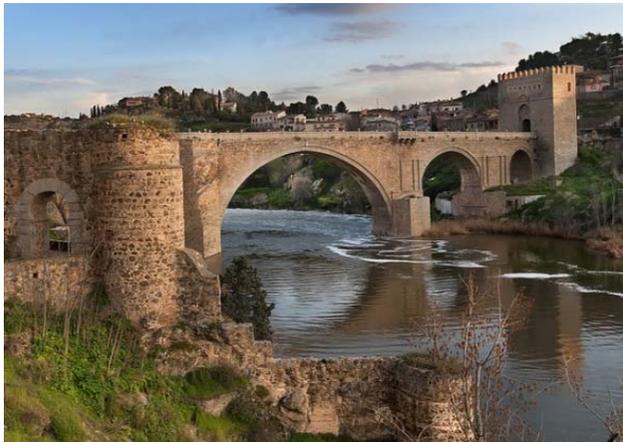


Materiales empleados

Piedra

El arte de construir puentes decayó con el derrumbamiento del Imperio romano. Luego, en la Edad Media los gobiernos y los señores feudales concedieron frecuentemente privilegios a particulares para construir puentes y cobrar un derecho de peaje a los que los utilizasen.

Estos puentes eran más esbeltos que los romanos y solían presentar torres como elementos defensivos ante las invasiones del enemigo.



Puente de San Martín en Toledo, España del siglo XIII.



Puente de Regensburg sobre el Danubio, construido entre 1135 y 1146.

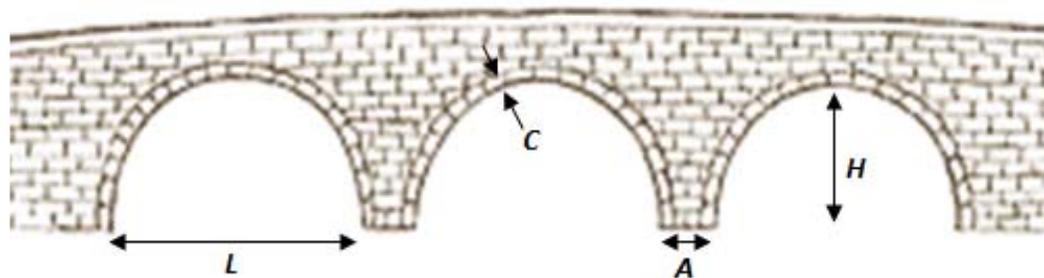
Materiales empleados

Piedra

Algunas de las diferentes reglas prácticas usadas para la construcción de puentes en arco fueron:

- Alberti (1452) – Primeras reglas escritas. $C=L/10$ a $L/15 > 30$ cm ;
 $A=H/4$; $4 < L/A < 6$
- Perronet (s. XVIII) - $C=0.325 + 0.035L$
- Lesguiller (s. XIX) - $C=0.1 + 0.2\sqrt{L}$

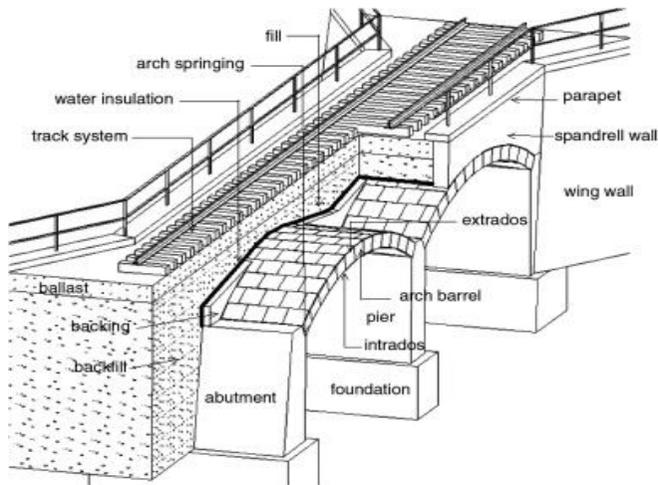
En ningún caso, se incluye la calidad de la piedra ni la relación flecha-luz.



Materiales empleados

Piedra

La piedra se ha utilizado en la construcción de viaductos modernos para el paso del ferrocarril. Las soluciones empleadas son muy similares a las utilizadas por los romanos en sus acueductos.



Materiales empleados

Hierro y Acero

El hierro llegó a ser el más poderoso elemento de progreso para todas las industrias, especialmente las de construcción de buques, ferrocarriles y puentes. Los avances tecnológicos en ese material junto con los avances en el conocimiento de la resistencia de materiales permitieron desarrollar la construcción de puentes metálicos en el siglo XIX como nunca.



Puente de Coalbrookdale (1781) fue el primer puente de hierro fundido.



Puente de Westminster en Londres fue diseñado por Thomas Page.

Materiales empleados

Hierro y Acero

El hierro forjado (hierro tratado a base de golpeo) fue el material de los puentes de la segunda mitad del siglo XIX, donde se implementaron un gran número de puentes ferroviarios reticulados.

Este tipo de hierro se utilizó en los primeros puentes colgantes que se construyeron. La suspensión de los puentes se hacía por medio de cadenas de este material.



Entre 1820 y 1826 se construyó un puente colgante con cadenas de hierro sobre el río Menai, en Inglaterra. En 1941 se sustituyeron las cadenas de hierro por unas nuevas de acero.

Materiales empleados

Hierro y Acero



Planos del puente sobre el río Menai, en Inglaterra.

Materiales empleados

Hierro y Acero

Con el desarrollo del acero a finales del siglo XIX, que era un material con mayores resistencias que el hierro, se desarrollaron nuevas tipologías de puentes.

Dicho material inicialmente era costoso. Cuando Henry Bessemer patentó en 1856 un sistema de producción de acero más barato, se comenzó a producir en cantidades industriales.



Materiales empleados

Hormigón

A principios del siglo XX empezó el desarrollo del hormigón en la construcción de puentes. Sus características favorables son su resistencia a compresión, su bajo costo y su larga duración. Los primeros puentes de hormigón que se construyeron estaban formados por un solo arco.



Posteriormente, se comenzaron a construir puentes de hormigón con mayores longitudes, formados por múltiples arcos.

El hormigón armado, tanto pretensado como postensado, han contribuido al desarrollo de dichos puentes.

Materiales empleados

Hormigón



Puentes de hormigón pretensado.

Materiales empleados

Mixtos

La característica general de estos puentes es que están conformados por una cabeza inferior metálica y alma del mismo material y una cabeza superior de hormigón, conectadas entre sí. Su construcción se puede hacer igual que la de un puente metálico, con las ventajas que esto representa por su mayor ligereza. La losa de hormigón superior puede ser realizada en sitio o prefabricada.



Viaducto en el Paseo de la Castellana en Madrid.



Viaducto ferroviario de Archidona en España.

Bibliografía

- IAP-11: Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de carreteras.
- Manual de Diseño de Puentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Agosto 2003.
- Abrir caminos... Tendiendo puentes. Ángel González.
- Puentes. Martha Torres Arcila.
- Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes. Leonardo Fernández Trojano.
- Caminos en el aire. Los Puentes. Juan J. Arenas de Pablo.
- Material de Fernando Sima de la materia Puentes de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Año 2014.
- Material de la materia Puentes de la Escuela Politécnica Superior de Ávila.
- Estática y geometría de puentes de fábrica en los siglos XV al XVII de Santiago Hurta Fernández.