



## **PUENTES CARRETEROS - INFRAESTRUCTURA**

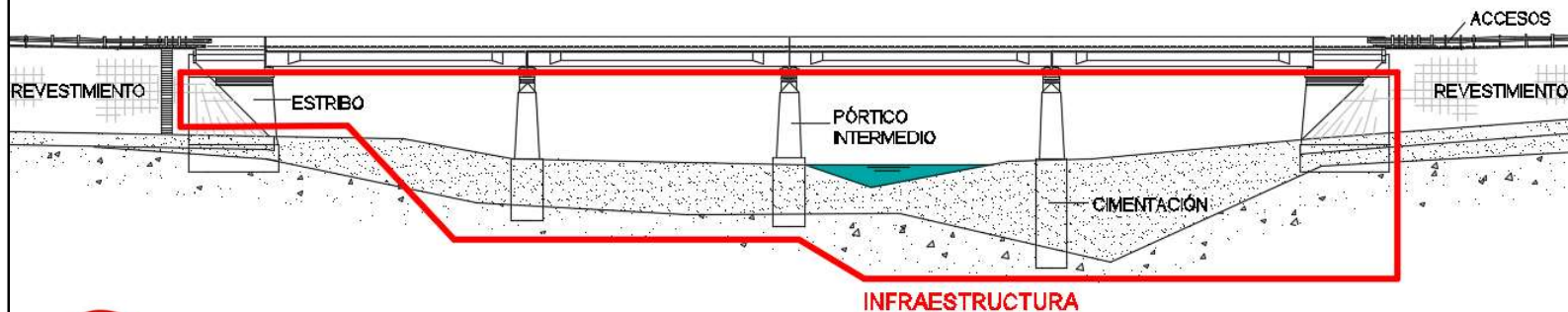
**Universidad de la República – Curso: 2024**

## Definición

Es la parte de la estructura de una obra de paso conformada por:

- los **apoyos intermedios** y los **estribos** (apoyos extremos) que soportan directamente la superestructura.
- la **cimentación** encargada de transmitir los esfuerzos al terreno.

El diseño de la infraestructura influye directamente en la configuración de la superestructura. Por ejemplo, la ubicación de los estribos determina la longitud total del puente y el número de pórticos intermedios determina el canto de la superestructura.



**¿EN QUÉ OTRO  
ASPECTO DEL  
TABLERO INFLUYE?**

## Definición

El diseño de la infraestructura requiere tener en cuenta los diferentes tipos de cargas como las provenientes de la superestructura, de la corriente de agua, de sismo, de viento y de relleno. Asimismo resultan determinantes las condiciones geológicas, y la geometría del tablero que esta soporta.



## Apoyos Intermedios

Su morfología está condicionada principalmente por:

- su altura.
- el tipo del tablero que sustentan.
- factores hidráulicos.

Los pilares pueden ser de mampostería, hormigón ciclópeo, hormigón armado, hormigón pretensado, o metálicos. Los pilares de mampostería y hormigón ciclópeo se usan para estructuras de poca altura en terrenos resistentes, mientras que los pilares de hormigón armado, pretensado, o metálicos son comunes para alturas mayores.

Se va a diferenciar entre **pilares de altura moderada** y **pilares de gran altura**. El límite de altura entre uno y otro está entre 20-30 m.



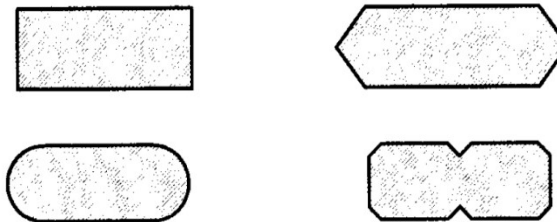
## Apoyos Intermedios

---

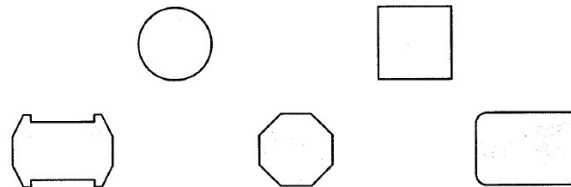
### Pilares de altura moderada

Las secciones transversales de estos pilares son casi siempre macizas. Se distinguen:

- **Pilares de tipo tabique o pantalla:** Su dimensión vendrá condicionada principalmente por el ancho inferior del tablero.



- **Pórticos con uno o varios pilares:** Partiendo de las secciones más simples (circular y cuadrada), se pueden obtener distintas posibilidades de fustes.



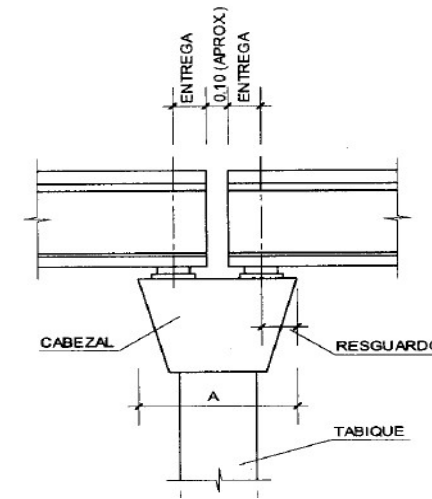
## Apoyos Intermedios

### Pilares de altura moderada

#### Pilares de tipo tabique o pantalla

En el caso de tableros convencionales de vigas:

- La necesidad de dar apoyo a las vigas extremas del tablero, da lugar a tabiques excesivamente anchos y opacos. Puede resultar poco estético.
- Las exigencias geométricas derivadas de disponer dos líneas de apoyo en el tabique suelen obligar a disponer un **cabezal en la coronación**, a no ser que se proyecte un tabique excesivamente grueso.

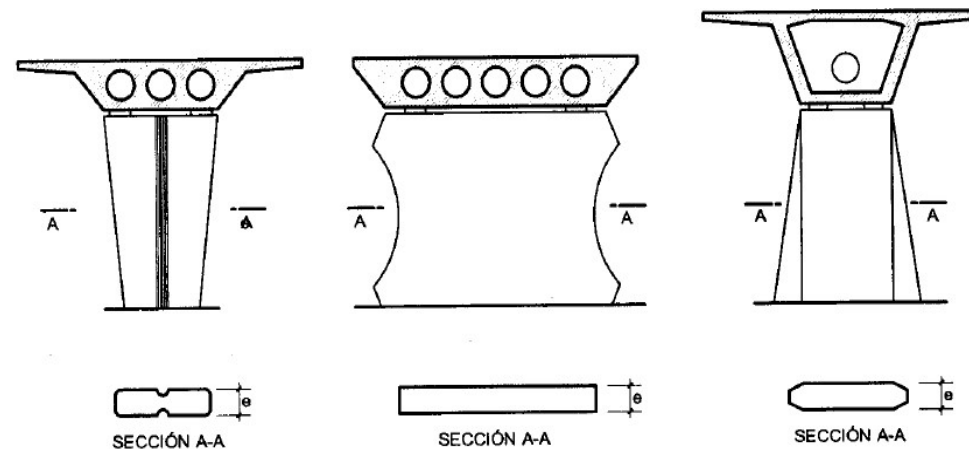


## Apoyos Intermedios

### Pilares de altura moderada

#### Pilares de tipo tabique o pantalla

En el caso de tableros de tipo losa o cajón, el pilar tabique suele permitir el disponer al menos dos apoyos. Por tanto, se puede considerar que cada vano está empotrado a torsión en los pilares, lo que favorece el trabajo del tablero. En los apoyos en que la superestructura es continua, el espesor "e" sólo viene determinado por condiciones resistentes, y las dimensiones del elastómero, ya que sólo hay necesidad de disponer una línea de apoyos del tablero.

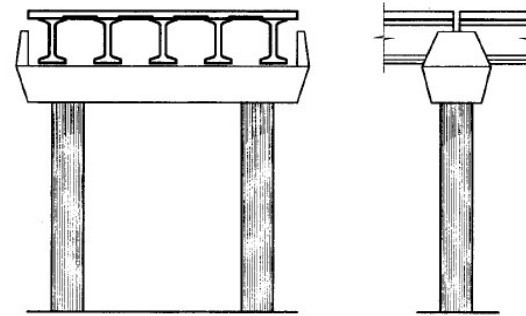


## Apoyos Intermedios

### Pilares de altura moderada

#### Pórticos con uno o varios pilares

En el caso de tableros de varias vigas, es necesario disponer un dintel que una los pilares y que constituye, junto con ellos, un pórtico.





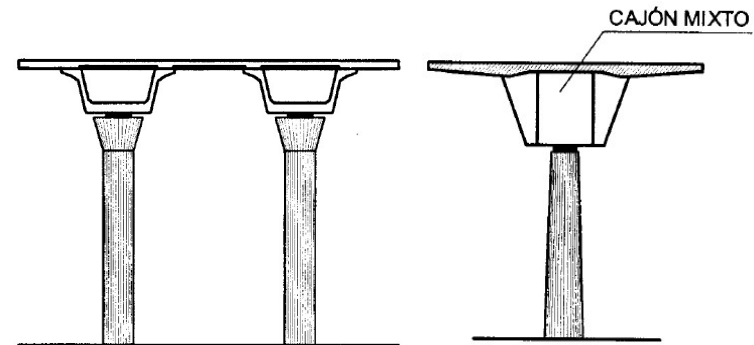
## Apoyos Intermedios

### Pilares de altura moderada

#### Pórticos con uno o varios pilares

En el caso de tableros con pocas vigas, como pueden ser los constituidos por vigas artesa, se elimina este dintel y se dispone un pilar por viga. Las necesidades geométricas de apoyo de las vigas, obligan en algunos casos a disponer un cabezal en la coronación de los pilares.

Es frecuente recurrir a un solo pilar si el ancho inferior es menor a 10-12 metros, siempre que la resistencia del tablero, frente a la torsión y la flexión transversal, lo permita.



## Apoyos Intermedios

### Pilares de altura moderada

#### Pórticos con uno o varios pilares

Las **pilas martillo** consisten en soluciones de un solo pilar (pantalla normalmente) que dan apoyo a dos o más elementos transversalmente, por lo que es necesario disponer un dintel. En este caso, no se pueden considerar los tableros 100% empotrados a torsión en los pilares, ya que la flexibilidad de los pilares puede no resultar despreciable.



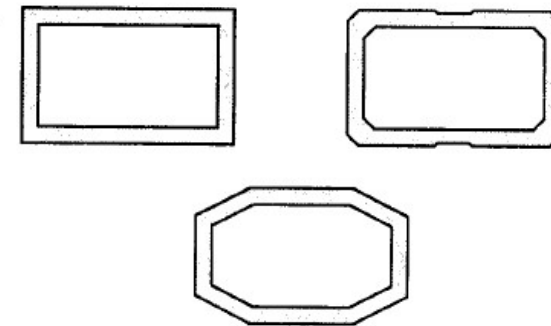
## Apoyos Intermedios

### Pilares de gran altura

En estos casos, las acciones horizontales que actúan sobre ellos junto con las acciones verticales del tablero, generan solicitaciones que obligan a recurrir a secciones con dimensiones apreciables.

En muchos casos para darle mayor rigidez transversal se pueden disponer **riostros horizontales** o incluso un **arriostramiento continuo** (sección en H).

También pueden requerir aumentar la rigidez a flexión longitudinal y a torsión, tanto por motivos constructivos como resistentes. En este sentido, la mejor disposición estructural consiste en adoptar **secciones celulares**. Los espesores mínimos suelen ser 0.25-0.30 m, y los espesores máximos 0.45-0.50 m.



## Apoyos Intermedios

### Cálculo

Comúnmente, los pilares se comportan como elementos sujetos a cargas axiales y a momentos en las dos direcciones. Debido a la existencia de directas de compresión, es obligatorio considerar la inestabilidad de estos elementos.

Para el análisis de la presión del agua se deben considerar las hipótesis de nivel máximo y mínimo de agua. De igual forma, se debe hacer el análisis de cargas de viento sobre vehículos, la superestructura y la infraestructura en los sentidos longitudinal y transversal. Para el análisis de la sobrecarga de uso se deben analizar varias posibilidades de manera que se obtengan los casos más desfavorables.



## Estribos

Los estribos son los elementos que constituyen los soportes extremos de las obras de paso, materializando la transición entre el tablero y los terraplenes de acceso al puente.

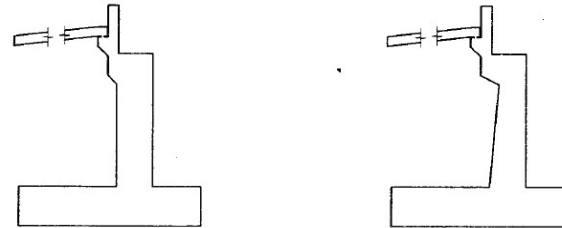
Además de recibir las cargas transmitidas por el tablero, han de sostener las tierras de los terraplenes de acceso de la estructura. En general, es este trabajo como muro de contención de tierras el determinante en su dimensionamiento. La altura máxima no suele superar los 15 m, ya que para alturas mayores, suele resultar más ventajoso aumentar la longitud del puente y disminuir dicha altura.



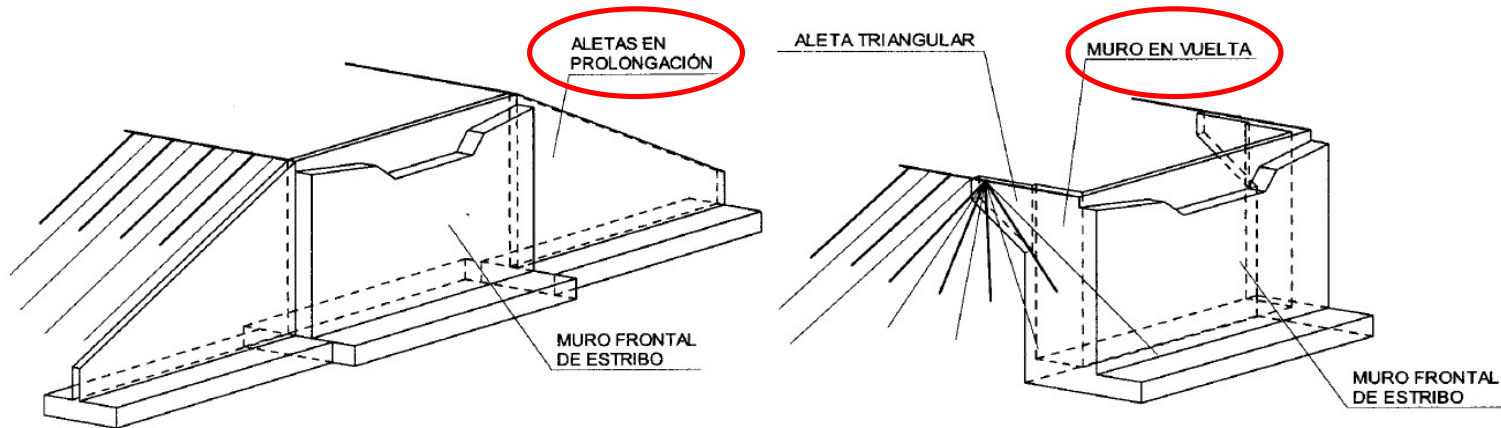
## Estribos

### Estribos cerrados

El estribo tiene un cierre frontal y lateral que contiene la tierra. Un corte en el sentido longitudinal sería:



En cuanto a la contención lateral, hay dos soluciones posibles:



## Estribos

### Estribos cerrados



*Solución con aletas en prolongación.*



## Estribos

### Estribos cerrados

*Solución con muro en vuelta.*



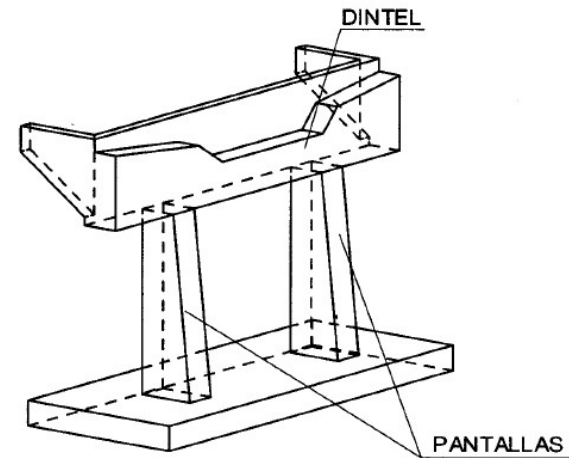


## Estribos

### Estribos abiertos

Consiste en un dintel, sobre el que apoya el tablero, que descansa en unas pantallas que transmiten las cargas a la cimentación. Por tanto, en el estribo abierto las pantallas sustituyen a gran parte del muro frontal del estribo cerrado, lo que produce el consiguiente ahorro de hormigón.

El número de pantallas a disponer, y su espesor y canto en la base, serán función del ancho total del tablero y de la altura del estribo.



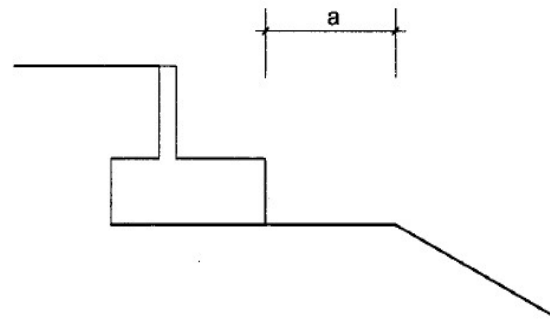
**¿QUÉ OCURRE CON LA  
CONTENCIÓN DE TIERRAS?**

## Estribos

### Sillas-cargadero

Se utilizan cuando está permitido el derrame frontal de las tierras. Son un durmiente o viga flotante que recoge el tablero en todo su ancho y que apoya en el terraplén adecuadamente compactado. La necesidad de respetar un resguardo mínimo "a", producto de las características geotécnicas del terraplén y de la estabilidad del talud, implica que los vanos laterales del tablero resulten más largos que cuando los estribos son cerrados o abiertos.

Esta solución ha sido muy frecuente en el caso de superestructuras isostáticas pero menos en los hiperestáticas por las dificultades que conlleva el determinar los asientos del terraplén y evaluar su incidencia en el resto del puente.



**¿SE EMPLEAN EN  
URUGUAY?**

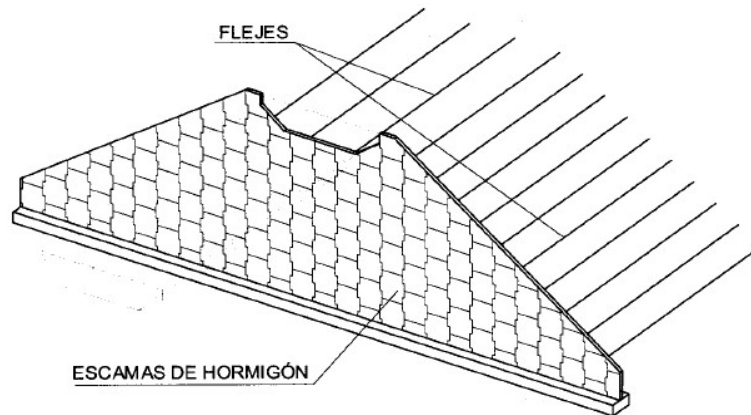
## Estribos



### Estribos de tierra armada

En aquellas situaciones en que las tierras no pueden derramar por delante del estribo, y los terrenos sean de baja capacidad portante y/o muy deformables, se puede recurrir a estribos de tierra armada.

En este tipo de estribos la misión de contener las tierras se consigue gracias a los flejes que tienen las escamas. Deben estar muy bien ejecutados para que no se produzcan las frecuentes patologías posteriores de rotura de escamas, desplazamientos, etc.



**¿CÓMO TRABAJAN ESTRUCTURALMENTE?**

## Estribos

---

### Estribos de tierra armada



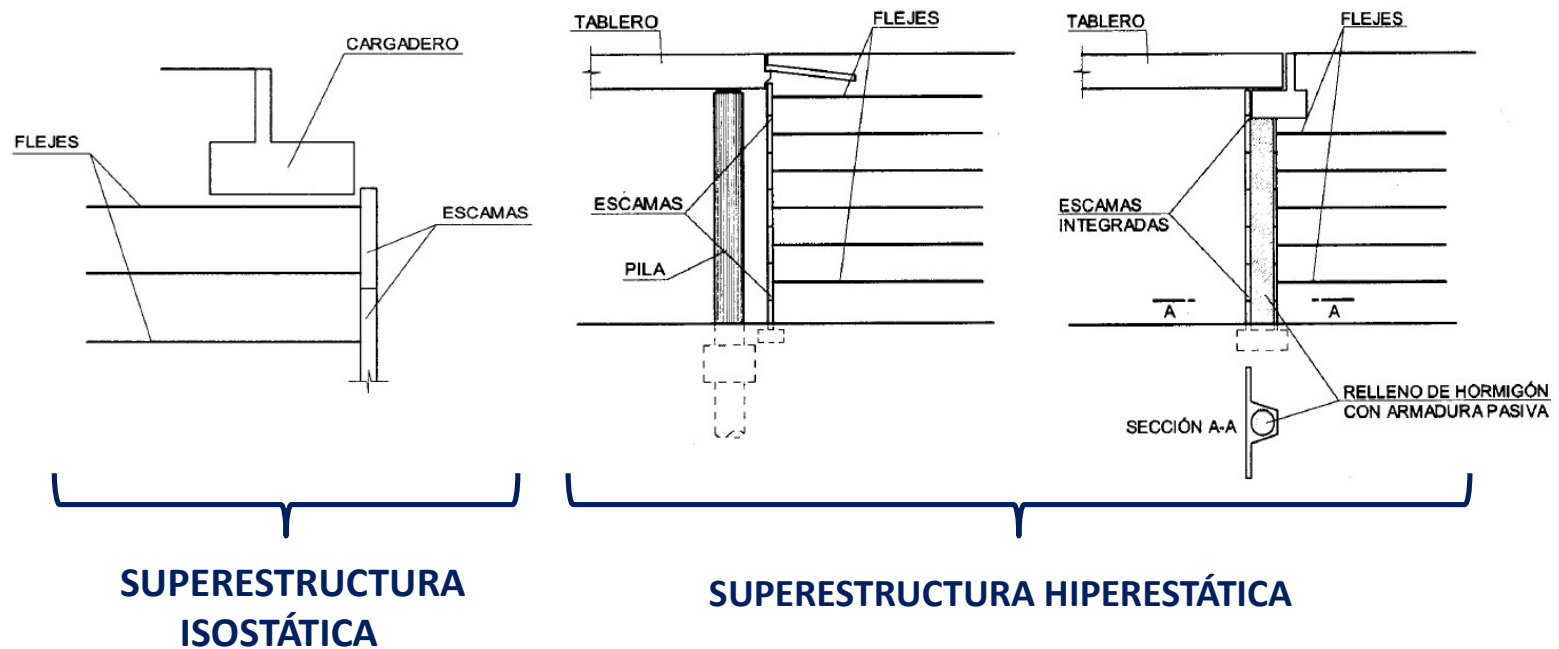
**VER VIDEO**



## Estribos

### Estribos de tierra armada

La descarga de la superestructura puede ser realizada por distintos métodos:



## Losa de acceso

Como la deformabilidad de los terraplenes de acceso es mucho mayor que la de los estribos, que verticalmente constituyen un autentico punto duro, en el trasdós del estribo tiende a producirse un escalón brusco entre la tierra y el muro frontal. Para evitar o minimizar este efecto, además de vigilar cuidadosamente las características y compactación de los rellenos del trasdós, es necesario disponer losas de acceso.



## Losa de acceso



Tradicionalmente, en Uruguay las losas de acceso tienen el mismo ancho que la calzada más banquetas del puente y un largo de 5.50 m como mínimo. Pueden estar enterradas con una pendiente de 5% o ser horizontales. Debajo de la misma se debe colocar 1.0 m de tosca cemento.

Para su cálculo se considera la losa apoyada en resortes superficiales en el lado opuesto al estribo en un cierto largo y en todo su ancho y simplemente apoyado en el estribo. Las acciones verticales a considerar son las mismas que las que se desarrollan en el resto del puente.

## Socavación

Los estribos y pilares ubicados en el curso del río o en las llanuras de inundación están expuestos a la socavación, que se produce cuando las partes de la estructura que inicialmente estaban enterradas dejan de estarlo por causas naturales.

Desafortunadamente, este efecto es extremadamente complejo de predecir y calcular lo que lo convierte en el causante de la gran mayoría de los colapsos de puentes. Las condiciones de diseño que impone la socavación, deben obtenerse de estudios específicos previos, salvo que estén establecidas por el comitente.



**¿CÓMO SE CONTEMPLA  
ESTE FENÓMENO EN EL  
CÁLCULO?**

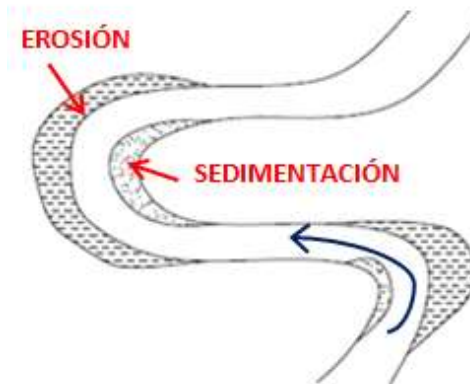
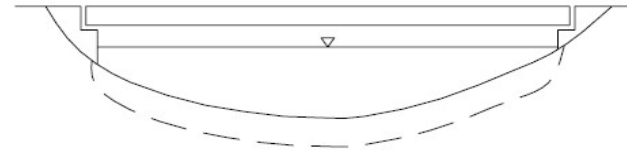




## Socavación

### Procesos independientes de la presencia del puente

- Ocurre en el fondo del río durante períodos de avenidas o inundación. Las altas velocidades son capaces de mover grandes cantidades de materiales, reduciendo el nivel del fondo. Este efecto se ve incrementado en cauces angostos.
- Otro tipo de socavación ocurre en las curvas de ríos. La erosión se presenta en las riveras exteriores de las curvas debido a las mayores velocidades del flujo.



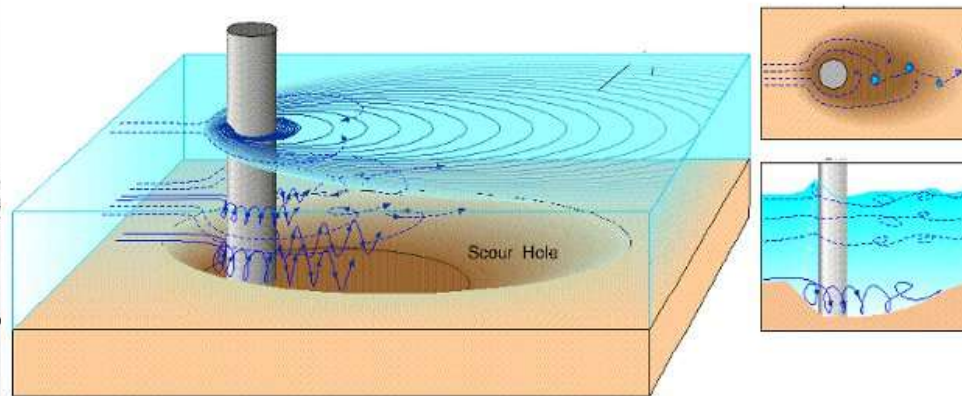
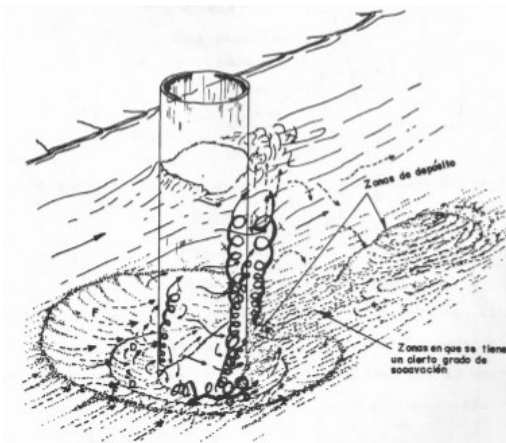
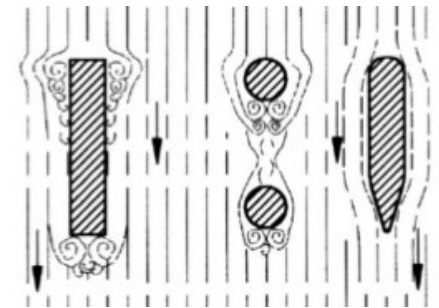
# Socavación

## Específicos por la presencia del puente

- Erosión generalizada provocada por el estrechamiento ocasionado por el puente.
- Erosión local que ocurre en pilas, estribos y otros elementos mojados o rodeados por la corriente. Depende de factores como la configuración de los pilares, el ángulo de inclinación entre el flujo y el pilar, la contracción del cauce, los escombros eventualmente depositados en el fondo, y la naturaleza del material de fondo.



**VER VIDEO**



## Cimentaciones

---

Las cimentaciones son los elementos a través de los cuáles los apoyos intermedios y los estribos transmiten las acciones que reciben al terreno natural. Se distinguen dos grandes grupos: las superficiales o directas y las profundas.

La elección de uno u otro tipo en general vendrá determinada por dos circunstancias:

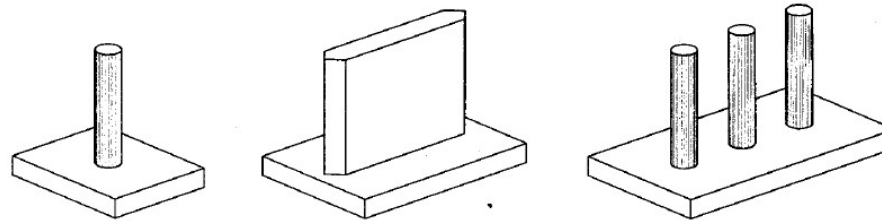
- La **capacidad resistente del terreno**.
- La **deformabilidad del terreno**.

Como los puentes habituales en los casos de luces medias, tienen una capacidad razonable para adaptarse a los posibles asentamientos que se produzcan, desde un punto de vista no funcional, se puede decir que el tipo de cimentación en general vendrá determinado por la cota a la que se encuentra el suelo competente.

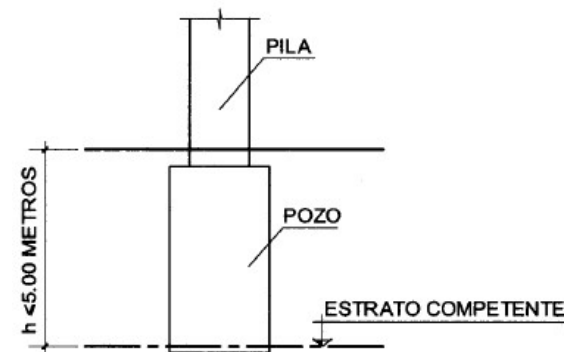
## Cimentaciones

### Cimentaciones superficiales

Las más comunes son las **zapatas** de hormigón. Sus dimensiones en planta, además de por la capacidad resistente del terreno, vendrán condicionadas por la tipología del elemento que sobre ellas descansa.



En algunas ocasiones el terreno competente no se encuentra en los estratos superficiales, pero tampoco a una profundidad que justifique el empleo de cimentaciones profundas pudiendo recurrir a **cimentaciones por pozos o havages**. A su vez, se puede emplear una solución que consiste en sustituir y mejorar el terreno hasta alcanzar el estrato competente, o disponer un relleno de hormigón pobre hasta el mismo.



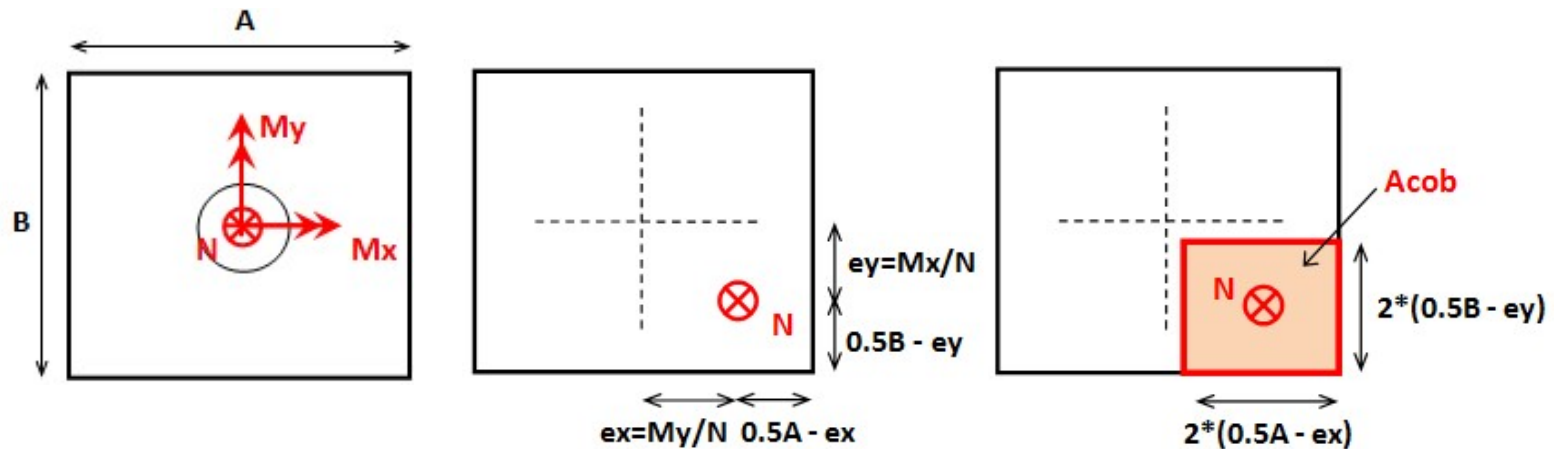
## Cimentaciones

### Cimentaciones superficiales

#### Cálculo

El parámetro de referencia que se debe considerar es la **tensión admisible del terreno**, brindado por un informe geotécnico ( $\sigma_{adm,terreno}$ ).

Para el dimensionamiento o verificación de la zapata, se puede considerar la **tensión cobaricéntrica**. Esta tensión se define considerando que en una cierta área (área cobaricéntrica) las deformaciones del terreno son horizontales, por lo que la tensión en esa parte del terreno es uniforme. A su vez, la respuesta del terreno en el área cobaricéntrica debe ser la encargada de equilibrar las acciones existentes en la zapata.



## Cimentaciones

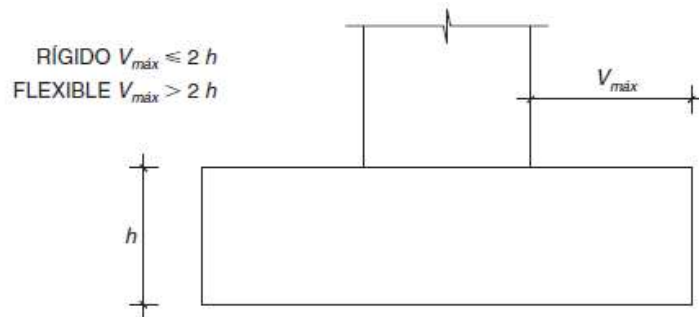
### Cimentaciones superficiales

#### Cálculo

De esa forma, se debe verificar que:

$$\sigma_{cob} = \frac{N}{A_{cob}} = \frac{N}{2(0.5A - e_x) \cdot 2(0.5B - e_y)} = \frac{N}{(A - 2e_x) \cdot (B - 2e_y)} \leq \sigma_{adm}^{terreno}$$

Se busca que la zapata esté dentro de la clasificación de cimentación rígida.



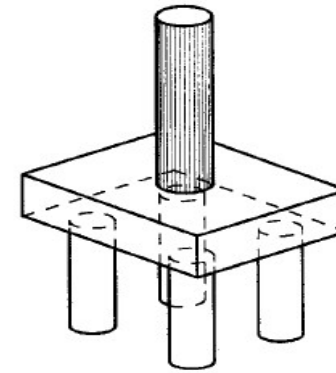
## Cimentaciones

### Cimentaciones profundas

Cuando es necesario buscar los estratos competentes a profundidades superiores a los 5 ó 6 metros, se recurre al uso de cimentaciones pilotadas.

Los pilotes normalmente son circulares, de hormigón y se ejecutan "in situ" o prefabricados. Los diámetros más comunes suelen estar en el rango de 0.6 a 2.0 metros. La DNV exige que su largo sea como mínimo 8.0 metros.

Normalmente, el elemento que efectúa la transición entre las pilas o los estribos y los pilotes es el **cabezal**. Los mismos normalmente presentan su cara superior enterrada, para que no queden vistos.

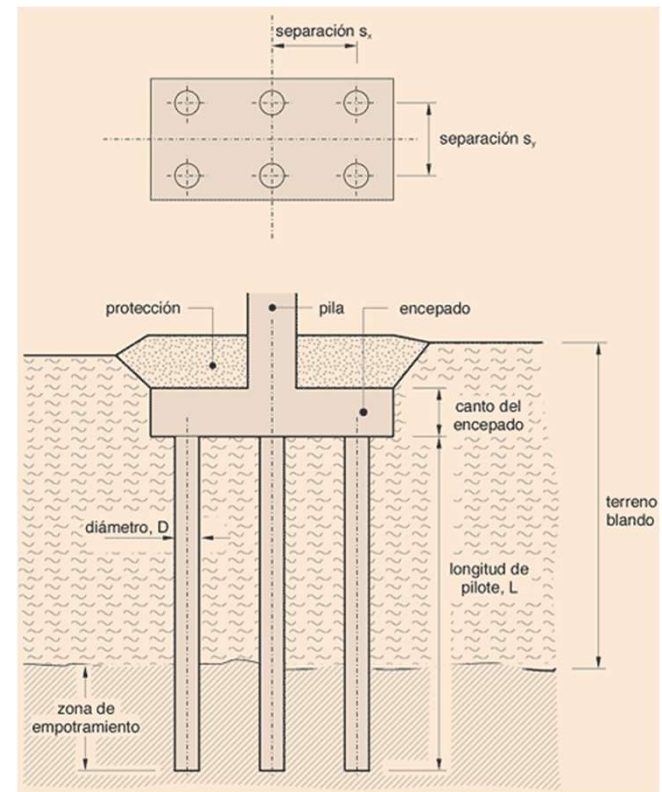


## Cimentaciones

### Cimentaciones profundas

Aunque el trabajo de los pilotes suele ser fundamentalmente a directa, cuando existen acciones horizontales de importancia, las flexiones pueden resultar determinantes en su proyecto. Los esfuerzos horizontales son equilibrados entonces con la respuesta lateral horizontal del terreno en contacto con el pilote (funcionando como resortes horizontales).

Actualmente, se está empleando la técnica de **pilar-pilote** que consiste en realizar un pilar vinculado a un único pilote, sin la necesidad de añadir un cabezal. En estos casos, el pilote debe estar dimensionado para poder llevar los esfuerzos a flexión y a directa que existan en el pilar, así como las posibles excentricidades derivadas de la imprecisión en la ubicación de los pilotes.





## Cimentaciones

---

### Cimentaciones profundas

#### Geometría

Se considera que la separación mínima entre los pilotes es  $2\phi_{\text{PILOTE}}$  a  $3\phi_{\text{PILOTE}}$ . Frecuentemente se adoptan mayores para tomar los momentos que transmiten los pilares. La distancias mínimas entre el borde de los pilotes y el extremo del cabezal es de 25 cm en el sentido de colocación de los pilotes y 15 cm en el transversal.

#### Cálculo de cabezales

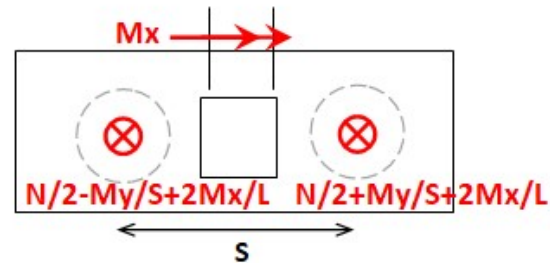
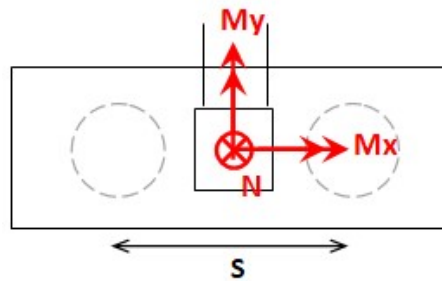
**Cabezal de dos pilotes:** Requiere disponer de una viga riostra en el sentido transversal al puente, perpendicular a la línea que une los dos pilotes. Esa riostra será la encargada de llevar casi la totalidad de los momentos flectores de los pilares que se desarrollen con vector en la dirección que une los dos pilotes, así como un momento flector debido a una excentricidad accidental de la carga vertical de 5 cm y una directa igual al 10% de la carga vertical.

**Cabezal con tres o cuatro pilotes:** No es necesario disponer de vigas riostras.

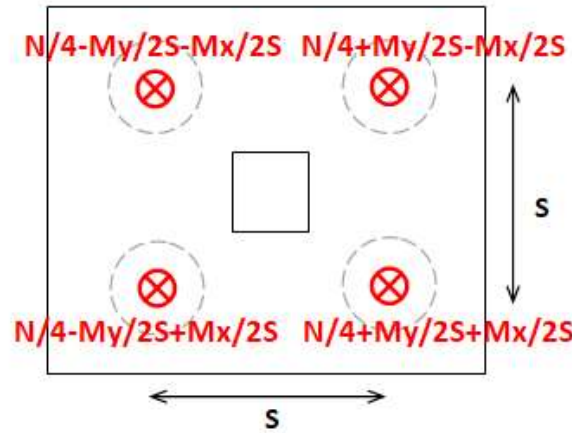
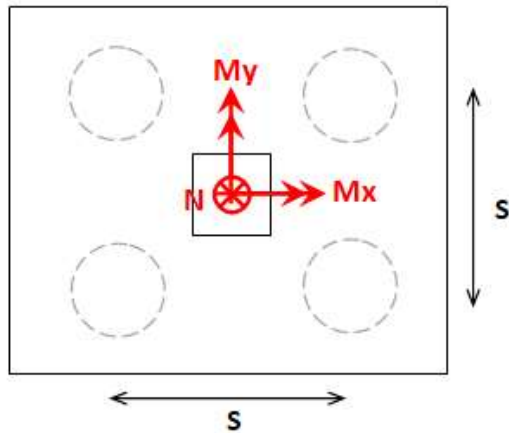
## Cimentaciones

### Cimentaciones profundas

#### Cálculo de cabezales



PLANTA DE CABEZAL DE 2 PILOTES



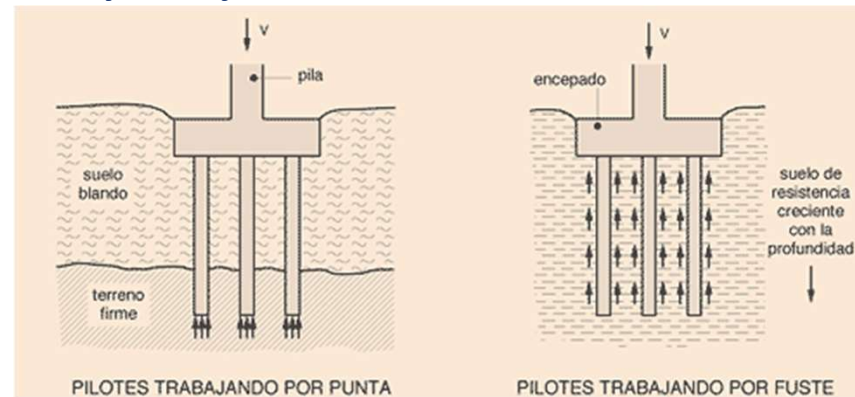
PLANTA DE CABEZAL DE 4 PILOTES

## Cimentaciones

### Cimentaciones profundas

#### Cálculo de pilotes

En cuanto a los pilotes, la forma de transmitir los esfuerzos verticales al suelo es **trabajando por punta y trabajando lateralmente**.



En el primer mecanismo, la base del pilote al entrar en contacto con el terreno firme lleva una porción de la carga total ( $R_{PUNTA}$ ) igual a:

$$R_{punta} = \sigma_{punta} \cdot A_{pilote} = \sigma_{punta} \cdot \frac{\pi \cdot \phi_{pilote}^2}{4}$$

El pilote suele entrar en el firme una distancia de por lo menos  $2\phi_{PILOTE}$ .

## Cimentaciones

---

### Cimentaciones profundas

#### Cálculo de pilotes

En el segundo mecanismo, el rozamiento del fuste contra los diferentes estratos del terreno genera una respuesta ( $R_{FUSTE}$ ) igual a:

$$R_{fuste} = \sum_i \tau_i \cdot p_{pilote} \cdot l_i = \sum_i \tau_i \cdot \pi \cdot \phi_{pilote} \cdot l_i$$

donde  $\tau_i$  es la tensión rasante del terreno en el estrato  $i$ ,  $p_{PILOTE}$  es el perímetro del pilote y  $l_i$  es el largo de contacto entre el pilote y el estrato  $i$ . En las zonas que se exija por pliego o informes particulares considerar posibles socavaciones, no se considerará en el cálculo de  $R_{FUSTE}$  los largos de los tramos socavados.

Finalmente, la capacidad resistente del terreno se garantiza con:

$$R_{terreno} = R_{punta} + R_{fuste} \geq N_{pilote}$$

## Taludes y revestimiento

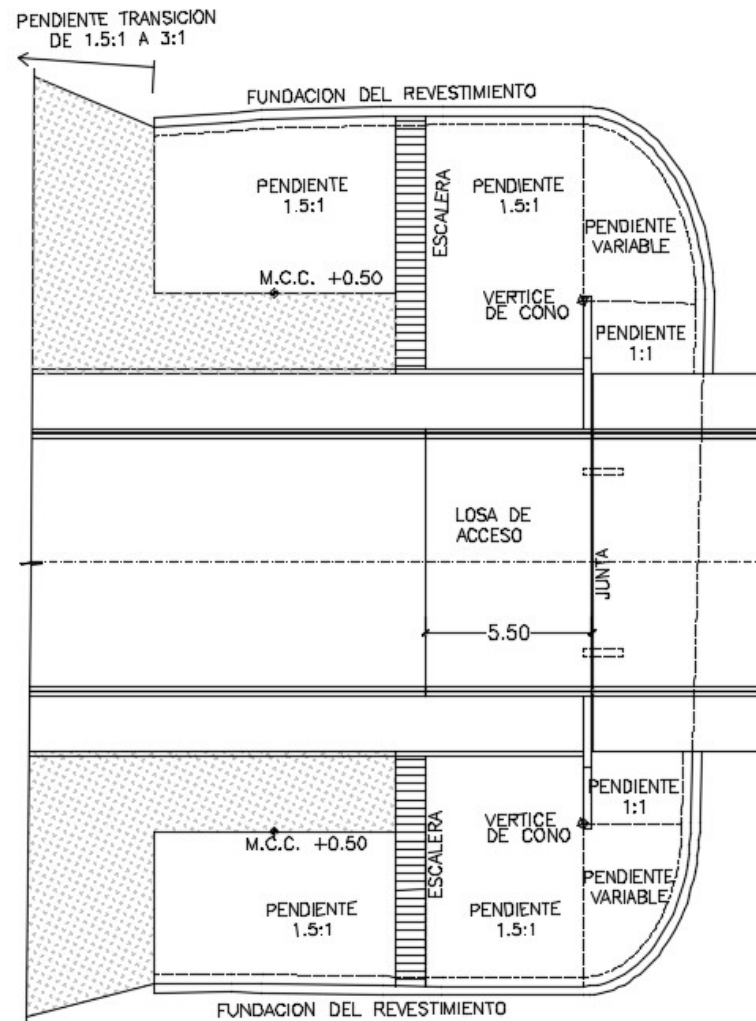
Los taludes de los terraplenes de acceso de los puentes suelen tener una geometría particular en función de la zona en que se desarrollen. La DNV exige que el **talud frontal** (aquél que está delante de los estribos) tenga una **pendiente 1:1** como máximo. La existencia de este talud implica que el área de desagüe se vea reducida. Cuando el área de desagüe esté fuertemente condicionada, se puede evitar la realización del talud frontal procediendo a la realización de un estribo cerrado con su correspondiente incremento de costo.

Los **taludes laterales** suelen tener una pendiente de **1:1.5** (por cada metro en vertical se avanza 1.5 m en horizontal). Esto implica que entre el talud frontal y los laterales exista una transición conocida como **cuarto de cono**.



## Taludes y revestimiento

*Planta indicativa de pendientes de revestimientos.*



## Taludes y revestimiento



*Taludes y cuartos de cono.*

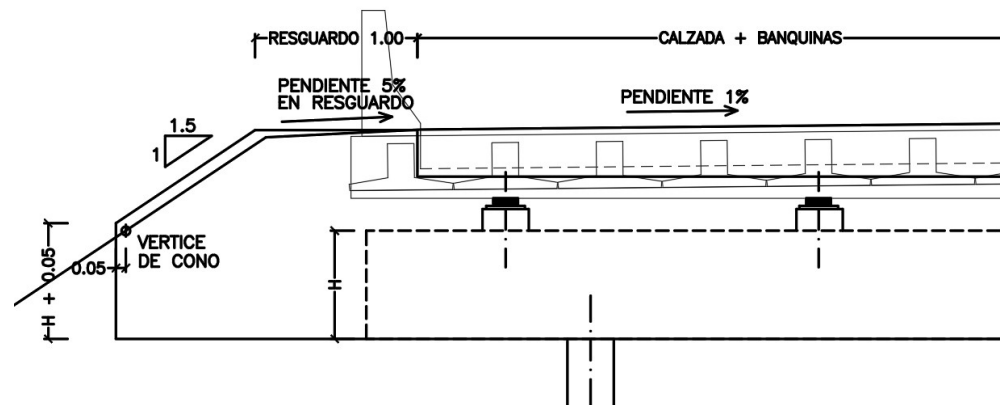
**VERTICE DE CUARTO DE CONO**

**TALUD LATERAL 1:1.5**

**CUARTO DE CONO**

**PENDIENTE 1:1**

*Viga dintel de estribo.*



## Taludes y revestimiento

En algunos casos, los taludes pueden verse afectados por la erosión debido a las altas velocidades que en determinadas circunstancias puede adquirir la corriente de agua. Es por eso que los mismos se suelen revestir con hormigón o piedra para protegerlo. Dichos revestimientos presentan escaleras para poder acceder con comodidad a la zona debajo del puente.

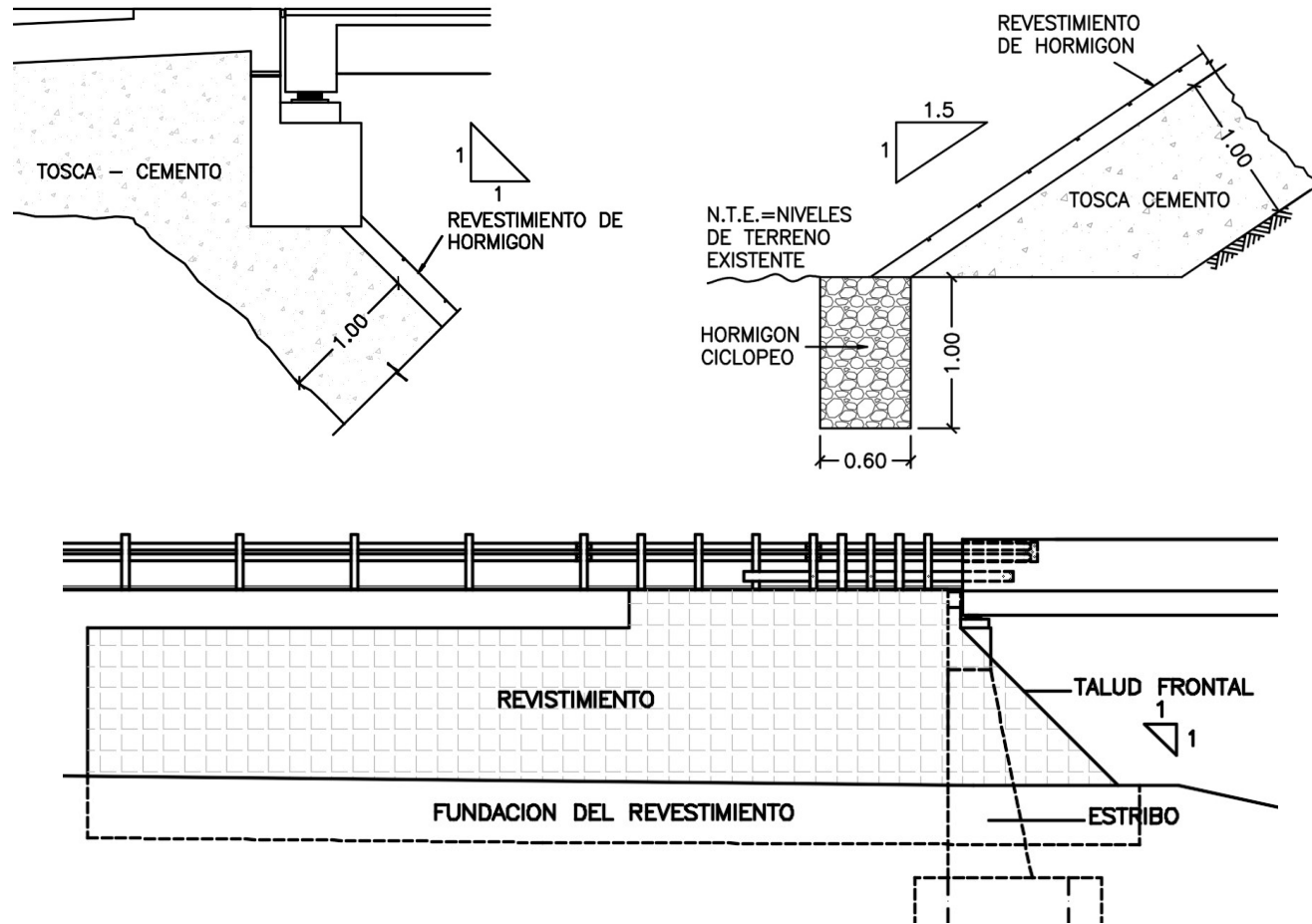
Los revestimientos suelen presentar una viga de hormigón ciclópeo de 0.60x1.00 (u otras según las condiciones locales) a lo largo de toda la parte inferior del revestimiento. Asimismo, debajo del revestimiento, se coloca una capa de 1.00 m de espesor de tosca cemento.



*Revestimientos de taludes y escaleras*



## Taludes y revestimiento



## Taludes y revestimiento



## Bibliografía

---

- Pliego General de Condiciones para la Construcción de Puentes y Carreteras.
- Especificaciones Técnico Complementarias y Modificativas del Pliego General de Condiciones de la Dirección Nacional de Vialidad.
- Obras de paso de nueva construcción – Conceptos generales. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España.
- Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. Ernesto Seminario Manrique. Universidad de Piura.
- Material de Fernando Sima de la materia Puentes de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Año 2014.
- Ingeniería de Puentes. Análisis estructural. Salvador Monleón Cremades.