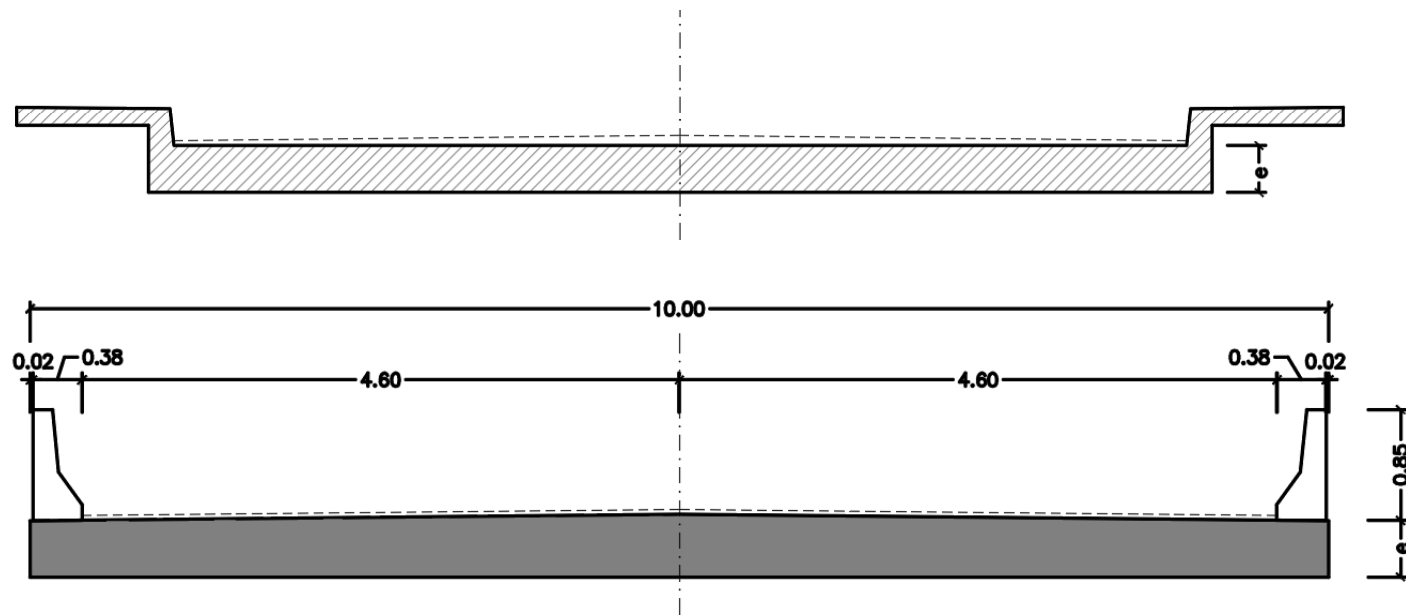




## Puentes tipo losa

Los puentes tipo losa son una tipología particular de puente viga, donde la losa del tablero es el elemento estructural principal. Es decir que esta losa recibe las cargas de tránsito y a su vez debe llevar directamente las fuerzas existentes a los apoyos de la superestructura.



## Puentes tipo losa

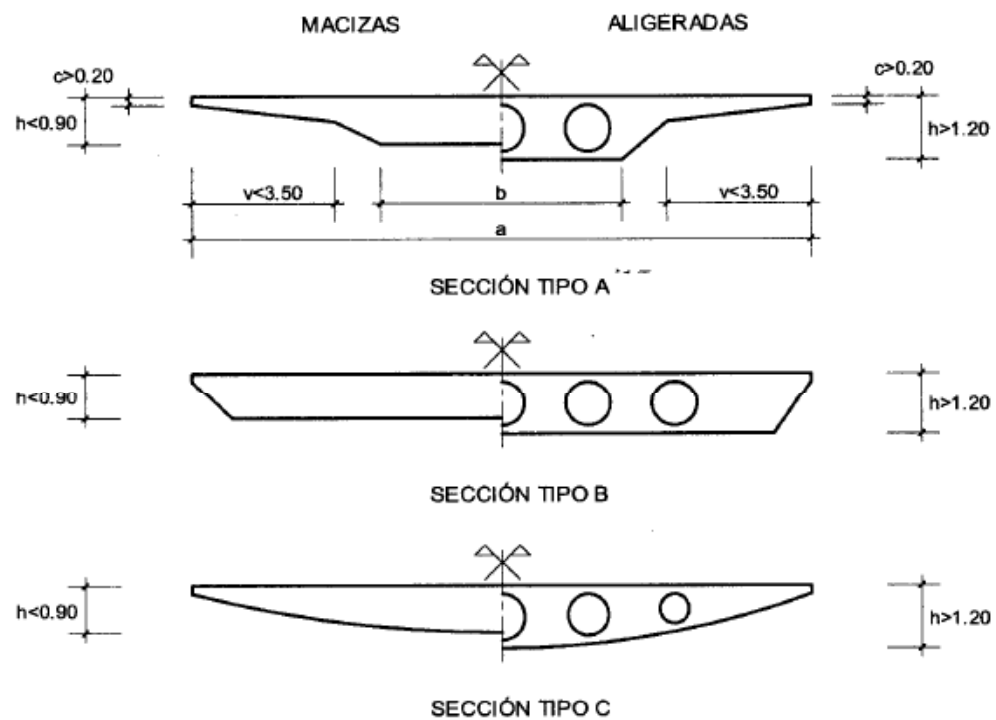
Esta tipología, debido a su mayor esbeltez y mayor adaptabilidad a la geometría de la traza, está especialmente indicada en aquellos casos en que la geometría del trazado en planta sea compleja (anchos variables, fuertes curvaturas), o cuando la cota ajustada de la rasante obligue a la utilización de cantos reducidos.

Son obras que presentan una buena capacidad de resistencia última por redistribución de esfuerzos.



## Sección transversal

Las secciones transversales más comunes en el mundo son:



## Sección transversal

---

- **Sección tipo A:** - Rendimiento estructural mejorado concentrando la rigidez. El ancho del tablero se completa entonces mediante voladizos laterales.
  - Relación núcleo/ancho total  $\geq 0.35$ .
  - Dimensión transversal de los voladizos no suele ser mayor a los 3.50 m.
  - Mayor economía de materiales.
- **Sección tipo B:** Permite las mayores esbelteces.
- **Sección tipo C:** Se reserva en general, para aquellos casos en que el aspecto estético y cierta originalidad resulten determinantes.

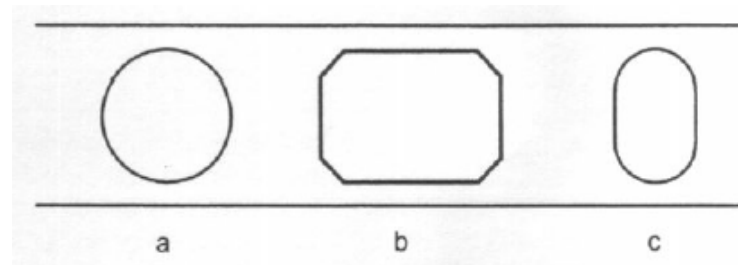
Cualquiera de los tipos de secciones pueden ser **macizas** o **aligeradas**. Las soluciones óptimas por temas constructivos y económicos son:

- $H < 90 \text{ cm} \rightarrow$  Macizas
- $H > 120 \text{ cm} \rightarrow$  Aligeradas

## Sección transversal

La presencia de aligeramientos en la losa genera que el puente se aproxime a trabajar como un puente viga. A su vez, genera mayor deformabilidad y distorsión de las celdas, resultando en la pérdida de eficacia con el objetivo de perder peso.

Los aligeramientos se realizan en general con poliestireno expandido.



**FORMAS HABITUALES  
ALIGERADAS**

Los aligeramientos circulares "a" (los más comunes) y los circulares suplementados "c" facilitan el hormigonado. El principal inconveniente de los aligeramientos circulares es que producen una relación de aligeramiento baja. Cuando los cantos son grandes y se precisa una alta relación de aligeramiento debe recurrirse a los aligeramientos circulares suplementados "c" o, para el máximo aligeramiento, a los rectangulares achaflanados "b" (aunque el hormigonado es en dos fases).



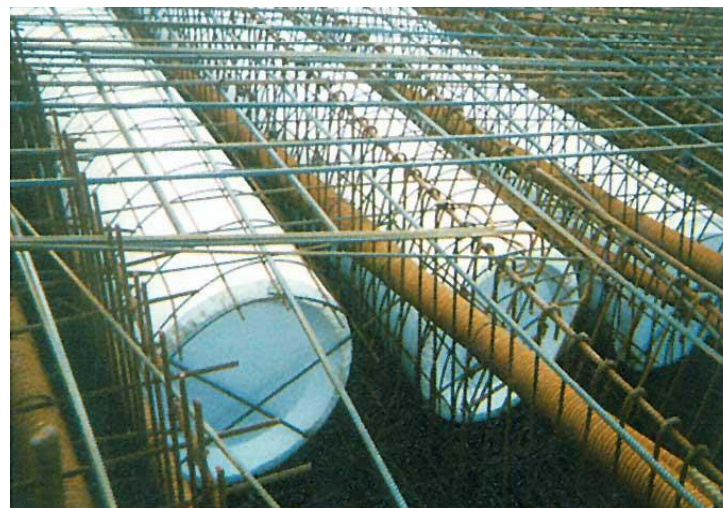
## Sección transversal



*Aligeramientos circulares.*



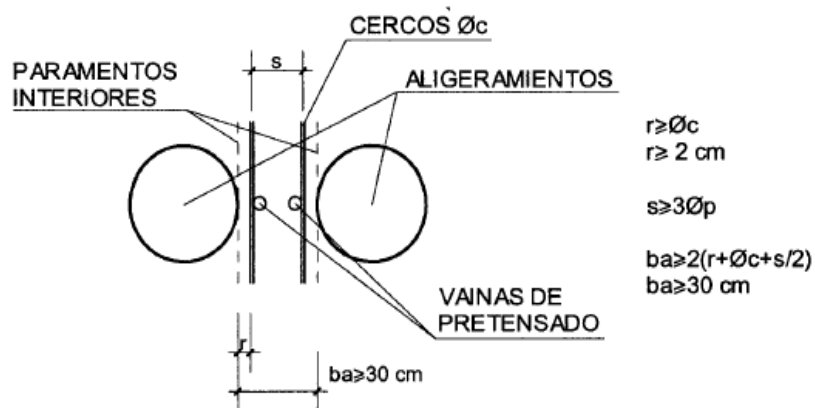
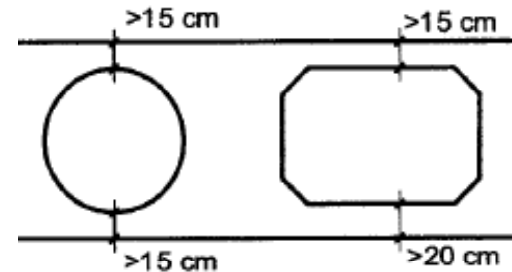
**EN URUGUAY, ¿QUÉ TAN  
ECONÓMICA ES LA SOLUCIÓN  
ALIGERADA RESPECTO A LA  
MACIZA?**



## Sección transversal

Hay distancias mínimas a los paramentos por:

- Flotabilidad del aligeramiento en el hormigonado.
- Imposibilidad de asegurar una inmovilidad de los aligeramientos.
- Necesidad de espesor mínimo suficiente tanto para absorber los efectos locales de las cargas, como para asegurar un correcto hormigonado.



Separación entre aligeramientos:

- Mayor a 30 cm.
- Tendones de pretensado deben poder desplazarse verticalmente cumpliendo distancias mínimas entre vainas y recubrimientos de armadura pasiva.
- Para vainas de pretensado los paramentos de los aligeramientos son paramentos interiores, pero son exteriores para la armadura pasiva.



## Sección transversal



*Puente de sección transversal maciza.*

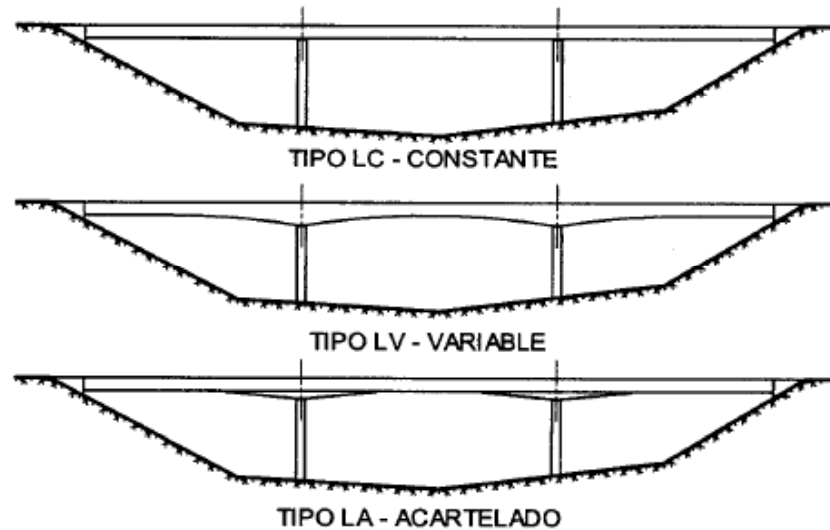


*Puente de Bayacas sobre el río Chico en Granada, España. Es una estructura hiperestática de 3 vanos con luces de 27 m - 38 m - 27 m y 10 m de ancho. Está conformado por una losa pretensada de 1.30 m de espesor en su zona central con aligeramientos cuadrados y dos voladizos laterales de 2 metros de longitud.*

## Disposiciones longitudinales

### Distribución del canto a lo largo del puente

De acuerdo con su disposición longitudinal, los puentes losa pueden ser de canto constante o variable. Las disposiciones más habituales en la práctica son:



**¿QUÉ VENTAJAS Y  
DESVENTAJAS TIENE  
CADA SOLUCIÓN?**

## Disposiciones longitudinales

### Distribución del canto a lo largo del puente



Las soluciones en alzado de canto variable o acarteladas, se emplean para luces mayores que las de canto constante, normalmente por encima de los 30-35 metros de vano máximo.

Los puentes losa se suelen utilizar en obras con luces cortas a medias, aunque en Uruguay no superan los 20 m.



## Sección transversal

---

En Uruguay, los puentes tipo losa suelen tener un espesor constante (LC) y normalmente no superan los 50 cm. Los espesores adoptados varían en función de si la solución es pretensada o no, y las luces de las losas.



*Puente Sangrador del Yucutujá en Ruta 30.*



*Intercambiador de la Ruta 5 y 48.*

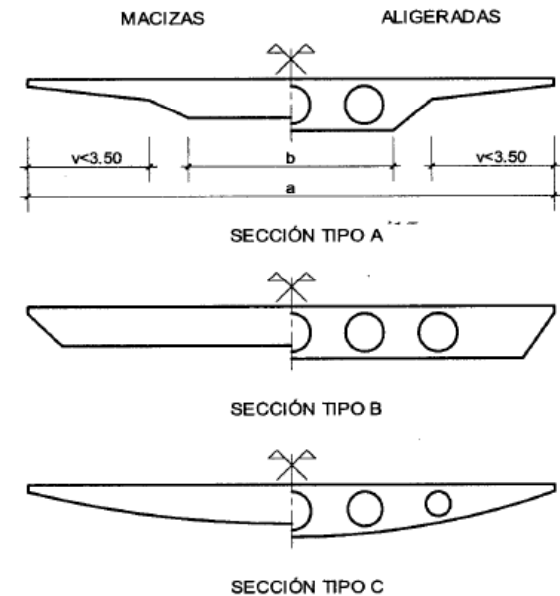
## Disposiciones longitudinales

### Distribución del canto a lo largo del puente

A continuación se recogen, para cada tipo de sección transversal y disposición longitudinal, las relaciones canto/luz más habituales en la práctica..

MATERIAL	TIPO DE ESTRUCTURA		RELACIÓN CANTO/LUZ TIPO DE SECCIÓN		
			A	B	C
HORMIGÓN ARMADO	LC		1/15-1/20	1/16-1/22	—
HORMIGÓN PRETENSADO	LC		1/22-1/30	1/24-1/32	1/18-1/24
	LV	CENTRO APOYOS	1/35-1/45 1/18-1/22	— —	— —
	LA	CENTRO APOYOS	1/35-1/45 1/18-1/22	— —	1/34-1/38 1/17-1/20

En los casos en que no se indica dicha relación, es que ese tipo de sección transversal no es habitual para esa disposición longitudinal.

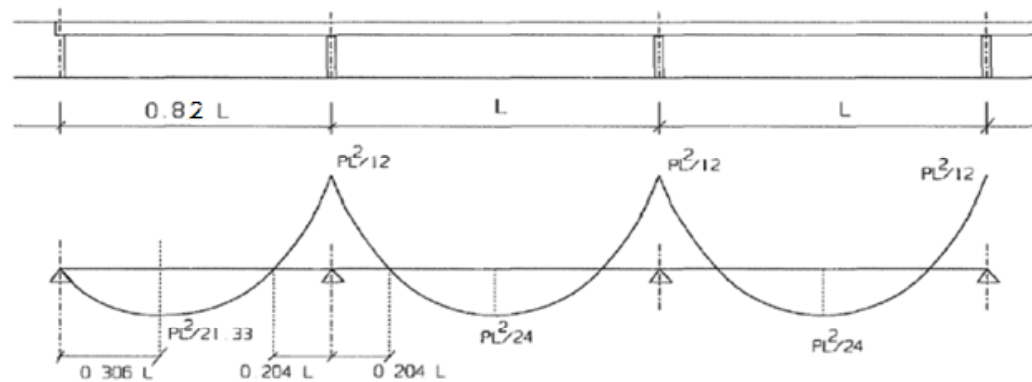




## Disposiciones longitudinales

### Relación entre el canto del vano extremo y el vano tipo

En losas continuas hormigonadas en sitio, la relación óptima entre los vanos extremos e intermedios es  $L_1 = 0.82 L$  (adoptaremos  $0.80 L$ ).



De esta forma los momentos sobre todos los apoyos son iguales y se equiparan los momentos positivos en los distintos vanos.

Si  $L_1$  es muy bajo (aprox.  $0.25 L$ ) puede tender a levantarse el vano extremo cuando se carga el vano central.

En losas continuas conformadas por losetas prefabricadas con posterior hormigonado en sitio, la relación óptima entre los vanos extremos e intermedios es aproximadamente  $L_1 = 0.9 L$ .

## Procedimientos constructivos

---

### Losas llenadas completamente en sitio

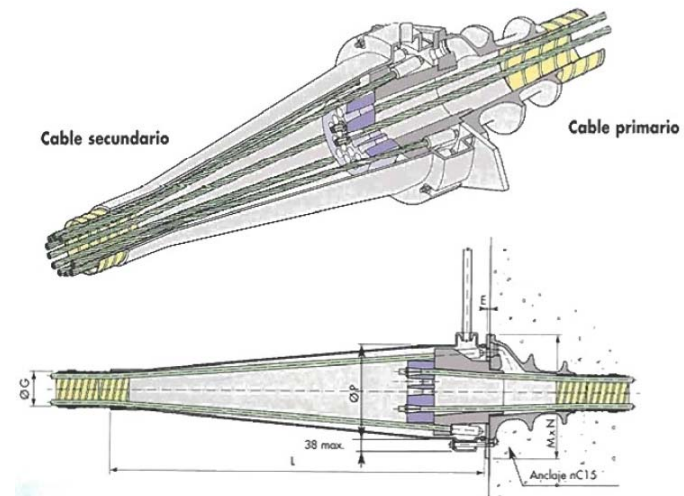
El proceso constructivo de los puentes losa hormigonados en sitio depende fundamentalmente del número de vanos y de la altura de las pilas.

- Para puentes de hasta 4 vanos (**longitudes no mayores de 120 ó 140 metros**) y con alturas de pilas moderadas ( $H < 20$  m), la solución más habitual es la de **cimbrao convencional de todo el tablero y hormigonado del mismo de forma continua**.
- Para **mayor longitud total**, tanto por cuestiones económicas relacionadas con la cantidad y tiempo de ocupación de la cimbra y encofrados, como por cuestiones técnicas (en el caso de puentes pretensados en los que las pérdidas resultarían inadmisibles), es necesario recurrir a una **construcción segmentada por fases**. Esto permite el desmontaje de la cimbra de la fase anterior y su montaje en la siguiente mientras se coloca la armadura, hormigona y pretensa la fase en construcción.

## Procedimientos constructivos

### Losas llenadas completamente en sitio

La continuidad del pretensado puede establecerse mediante conectores en los frentes de fases, que es la solución más habitual en este tipo de secciones, o cruzando los tendones de una fase, que se anclan en el frente de la misma, con los de la siguiente que se anclan en cajetines dispuestos en secciones anteriores a dicho frente.



Tipo de cimbrado:

- Con pilas de altura moderadas y fuera de los cauces: se puede recurrir al **cimbrado convencional**. Los andamios pueden apoyarse sobre zapatas provisionales o pueden usarse pilotes o puntales metálicos.
- Para alturas de pilas superiores resulta imprescindible el empleo de **cimbras autoportantes y autolanzables** que se independizan del terreno, al apoyarse en las propias pilas de la estructura a través de elementos provisionales.

## Procedimientos constructivos

### Losas llenadas completamente en sitio



*Cimbrao convencional.*



**¿CÓMO ES LA PREPARACIÓN DEL TERRENO EN LA ZONA DE EJECUCIÓN DEL PUENTE?**

## Procedimientos constructivos

### Losas llenadas completamente en sitio



*Cimbrado autoportantes  
o autolanzables.*



## Procedimientos constructivos

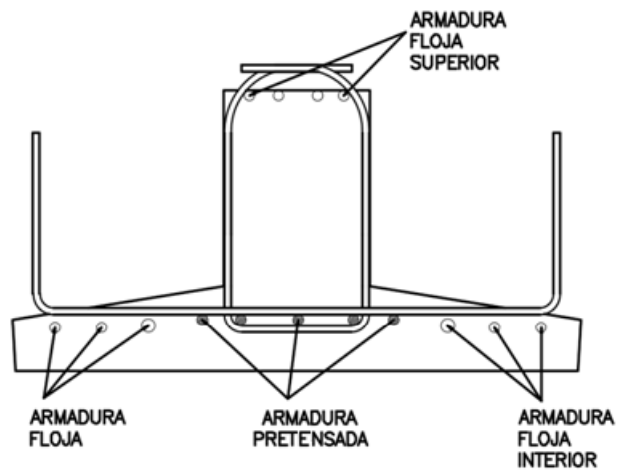
### Losetas prefabricadas con posterior llenado en sitio

En Uruguay se han comenzado a emplear **losetas prefabricadas** que pueden estar pretensadas o no, que al ser colocadas sobre los apoyos permiten ahorrar encofrados y a su vez suministran la armadura inferior necesaria. Una vez colocadas, se procede al agregado de la armadura superior para que la estructura trabaje de forma continua. Es importante tener en cuenta que la loseta inicial trabajará como una viga simplemente apoyada y recién cuando el fraguado del hormigón se haya efectuado, trabajará como una estructura continua.



## Procedimientos constructivos

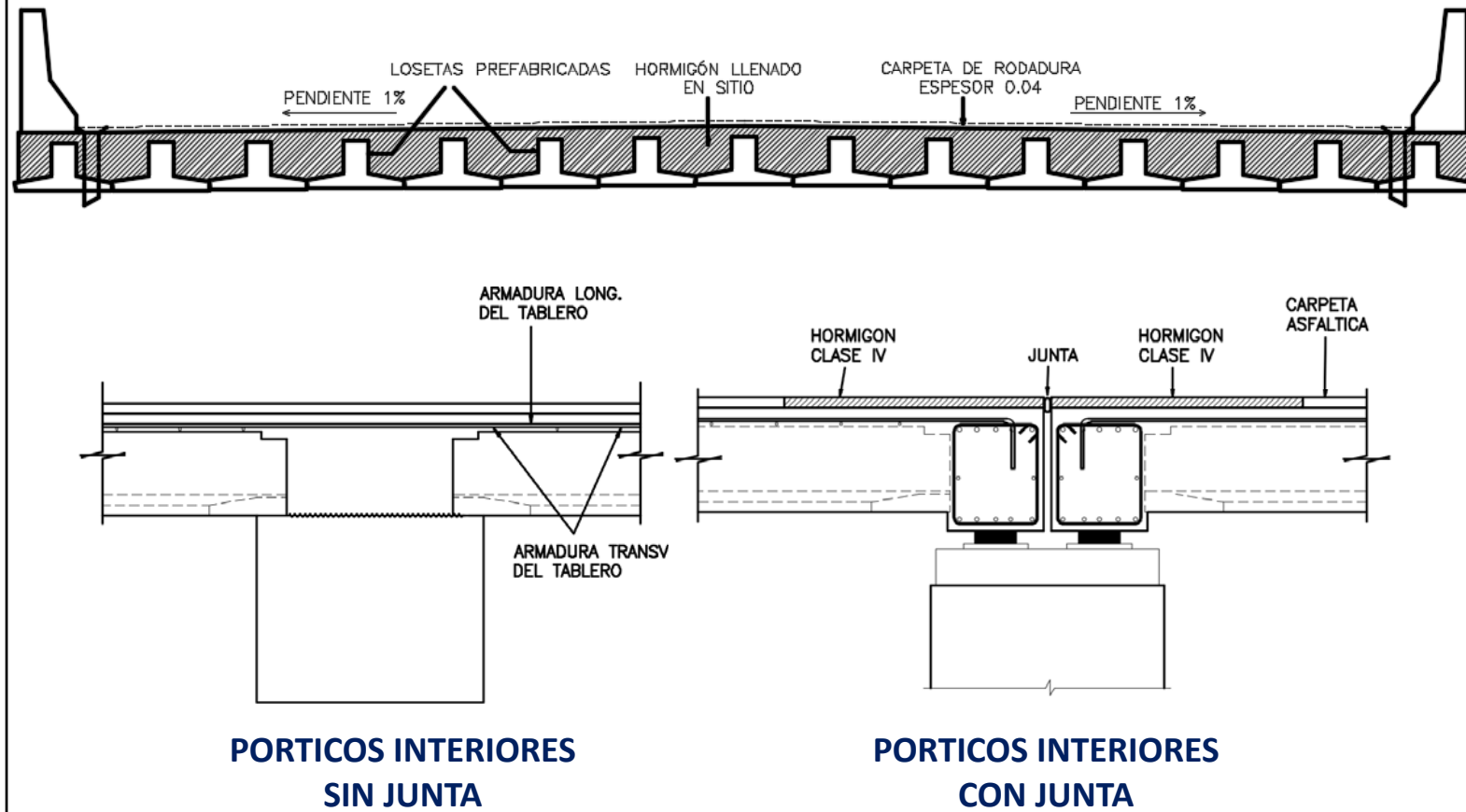
### Losetas prefabricadas con posterior llenado en sitio



**DISCUTIR CÓMO SE CONTEMPLA EL EFECTO DE ETAPAS CONSTRUCTIVAS ANTE LAS DISTINTAS ACCIONES PRESENTES EN EL PUENTE.**

## Procedimientos constructivos

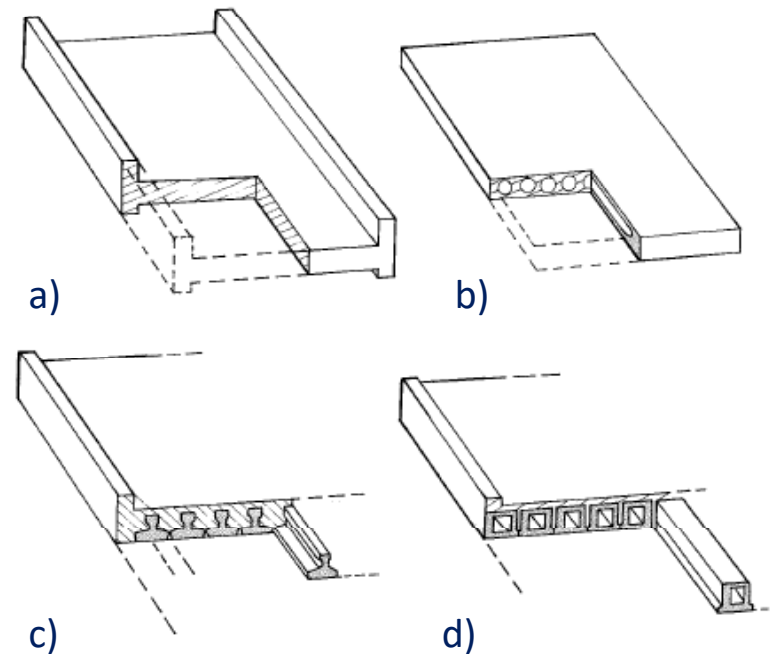
### Losetas prefabricadas con posterior llenado en sitio



## Cálculo

Desde el punto de vista del comportamiento mecánico de las losas se puede considerar:

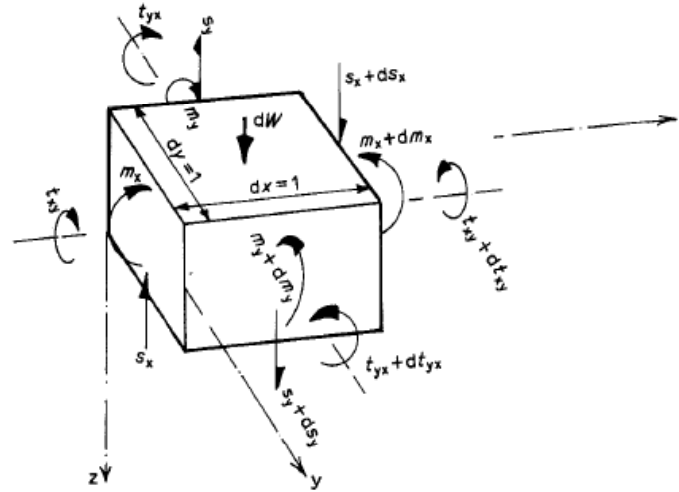
- **Losa isótropa:** Aquella donde la rigidez longitudinal es semejante a la rigidez transversal.  
Ejemplo: a).
- **Losa ortótropa:** Aquella donde las rigideces en ambos sentidos son diferentes, tanto por la geometría de la estructura como por características del material empleado.  
Ejemplo: b), c), y d).



## Cálculo

En estos elementos estructurales la carga se distribuye en dos dimensiones y la relación entre los cortantes y los momentos flectores no es tan directa como en las vigas.

Consideremos un elemento diferencial sometido a una fuerza  $dW$  y esfuerzos internos: momento flector  $m$ , momento torsor  $t$  y cortantes  $s$ .



Escribiendo:

$$\frac{\partial m_y}{\partial y} dy = dm_y, \quad \frac{\partial s_y}{\partial y} dy = ds_y, \quad W dx dy = dW$$



## Cálculo

---

Se llega a:

$$\frac{\partial s_x}{\partial x} + \frac{\partial s_y}{\partial y} = -W$$

$$\frac{\partial m_x}{\partial x} + \frac{\partial t_{yx}}{\partial y} = s_x$$

$$\frac{\partial m_y}{\partial y} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial x} = s_y$$

Para una losa isótropa:

$$m_x = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$m_y = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)$$

$w$ =desplazamiento vertical del punto de coordenadas  $(x,y)$ .

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

$E$ =módulo de elasticidad.

$t$ = espesor de la losa.

$\nu$ =módulo de Poisson.

En una losa ortótropa:

$$m_x = -D_x \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$m_y = -D_y \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)$$

$$t_{xy} = -2D_{xy} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)$$

$D_x$ =rigidez a flexión en el sentido longitudinal.

$D_y$ =rigidez a flexión en el sentido transversal.

$D_{xy}$ =rigidez a torsión propia de la losa.

## Cálculo

---

### Métodos de resolución

#### Obsoletos

- Resolución directa de la ecuación de Lagrange (limitada a unos pocos casos particulares).

Losa isótropa: 
$$D \left( \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} \right) = P(x, y)$$

Losa ortótropa: 
$$D_x \frac{\delta^4 w}{\delta x^4} + 2H \frac{\delta^4 w}{\delta x^2 \delta y^2} + D_y \frac{\delta^4 w}{\delta y^4} = P(x, y)$$

- Tablas realizadas por H. Rüsçh.

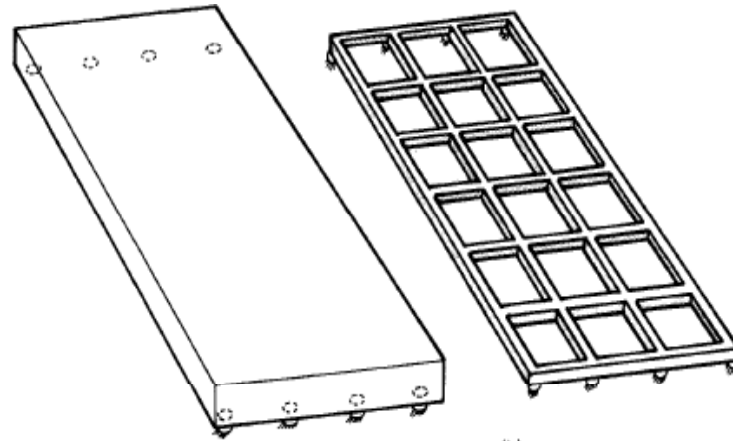
#### En vigencia

- Método del Emparrillado.
- Método de los Elementos Finitos (MEF).
- Como viga (dependiendo de las condiciones geométricas).

## Cálculo

### Métodos del emparrillado en losas macizas

La modelización mediante emparrillado debe realizarse de forma que el emparrillado conjuntamente tenga las mismas propiedades que la sección original del tablero tanto en el sentido longitudinal como el transversal.



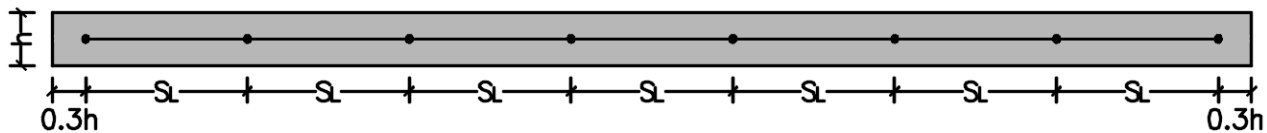
Tiene sentido realizar un modelo emparrillado si la relación entre ancho del núcleo de la sección del tablero ( $b$ ) y la luz ( $L$ ) es superior a 0,25. De lo contrario, el tablero podría modelizarse como una viga, al considerar que las tensiones longitudinales de una fibra son constantes dentro del ancho eficaz.

## Cálculo

### Métodos del emparrillado en losas macizas

Para el correcto funcionamiento del emparrillado, la malla debe cumplir:

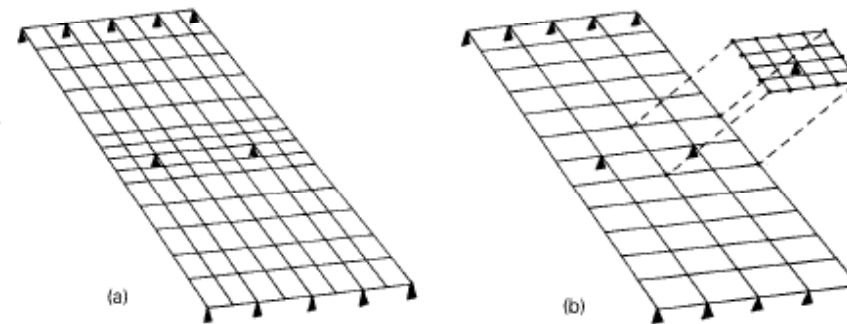
- Disponer siempre elementos en los bordes, las líneas de apoyos y donde aparecen elementos que rigidizan el tablero (vigas de borde, diafragmas, etc.) o ejes del trazado de tendones de pretensado.
- Las barras longitudinales deben pasar por los puntos de apoyo reales de la losa. Se puede usar una sola barra si el tablero es muy estrecho o hasta 20 barras si el tablero es muy ancho. En tableros usuales, se recomienda un mínimo de 5 y un máximo comprendido entre 9 y 11.
- Los anchos de las barras longitudinales deben estar comprendidas entre 2 veces el espesor de la losa y  $\frac{1}{4}$  de la luz efectiva.
- Las barras longitudinales de borde se sitúan a  $0.3h$  de las caras laterales de la losa, para recoger la componente vertical del flujo de tensiones tangenciales.



## Cálculo

### Métodos del emparrillado en losas macizas

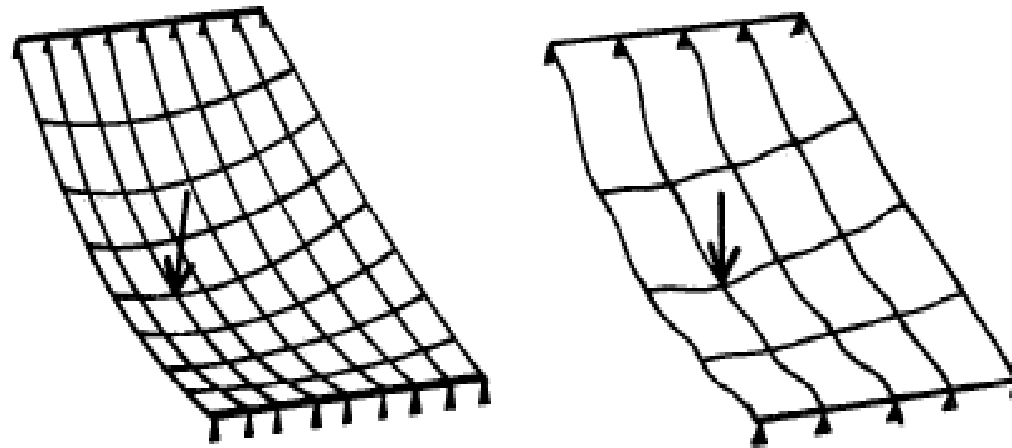
- Las barras transversales extremas se deberán poner siempre en la línea de apoyo del tablero. El resto de las barras se deben disponer a una distancia menor a  $\frac{1}{4}$  de la luz efectiva. Se recomienda contar con al menos 5 barras transversales en total.
- La relación entre espaciamiento de las barras longitudinales y transversales, es decir  $\lambda = s_T / s_L$  (siendo  $s_T$  la separación entre barras transversales y  $s_L$  la separación entre barras longitudinales) debe estar comprendida entre 1 (tableros anchos) y 2 (tableros estrechos).
- Puede ser necesario ajustar el mallado en zonas de cambios bruscos, como en zona de apoyos intermedios.





## Cálculo

### Métodos del emparrillado en losas macizas



El emparrillado debe a su vez buscar representar el comportamiento tensional y los giros por torsión que se desarrollan.

El mallado de la izquierda es adecuado ya que la superficie que se genera es suave. Sin embargo, en el segundo caso no se está logrando esa suavidad, lo cual no está generando el comportamiento deseado.

## Cálculo

---

### Métodos del emparrillado en losas macizas

#### *Barras longitudinales*

La inercia a flexión  $I$  será la misma que la de sección rectangular de ancho  $b$  y canto  $h$  de la sección:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

En losas isótropas, la inercia a torsión  $J$  se considera arrojada por:

$$J = \frac{bh^3}{6}$$

En losas ortótropas, la inercia a torsión por unidad de ancho  $j$  se considera:

$$j = 2\sqrt{i_x \cdot i_y}$$

Donde  $i_x$  e  $i_y$  son las inercias a flexión por unidad de ancho en la dirección longitudinal y transversal.

Recordar que los anchos en las barras extremas e internas son diferentes. En particular para la torsión, tanto para la losa isótropa como la ortótropa se recomienda descontar del ancho la distancia  $0.3 \cdot h$  en las barras extremas.

## Cálculo

### Métodos del emparrillado en losas macizas

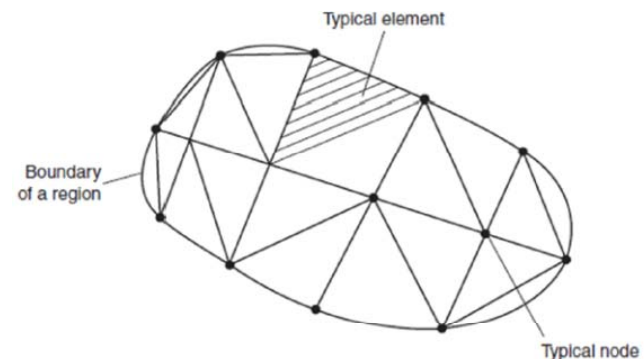
#### *Barras transversales*

Se tomará igualmente una sección rectangular de ancho  $b=s_T$  en barras interiores y  $b= s_T/2$  para barras extremas del tablero, actuando de igual forma para calcular la inercia a flexión y a torsión.

#### Método de elementos finitos (MEF)

Se basa en la discretización de un continuo mediante el ensamblaje de una serie de subdivisiones de ese continuo llamadas *elementos finitos*. Estos elementos están conectados a través de puntos llamados *nodos*.

Se adoptan una serie de funciones de forma para describir los desplazamientos dentro de cada elemento en función de los desplazamientos en los nodos.

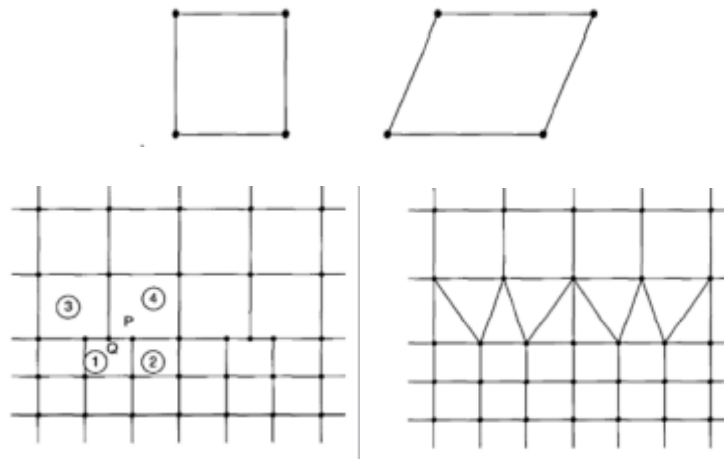


## Cálculo

### Método de elementos finitos (MEF)

Luego, se obtienen las ecuaciones de equilibrio para cada uno de los elementos a través del principio de mínima energía potencial. Estas ecuaciones se combinan imponiendo la preservación de la continuidad de los desplazamientos en los nodos. El sistema de ecuaciones resultante se resuelve para las condiciones de borde a fin de obtener los desplazamientos desconocidos (en los nodos). A partir de los desplazamientos en los nodos se obtienen los esfuerzos y deformaciones dentro de los elementos.

En general, si la malla es más densa, el resultado es más exacto. Los elementos de la malla deben ser lo más regulares posibles y deben evitarse las discontinuidades entre los mismos.



## Bibliografía

---

- Obras de paso de nueva construcción – Conceptos generales. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España.
- Material de Fernando Sima de la materia Puentes de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Año 2014.
- Bridge Deck Behaviour. 2nd Edition. E.C. Hambly.
- Ingeniería de Puentes. Análisis estructural. Salvador Monleón Cremades.