



## **PUENTES CARRETEROS – TIPO VIGA**

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

## Puentes tipo viga

---

La superestructura conformada por vigas y losas aparece como solución particular a los dos problemas básicos en la ingeniería de puentes:

### Problema resistente

En tableros rectos biapoyados o continuos, con dos bordes libres, la flexión longitudinal es predominante y se puede resistir de dos formas:

- Repartiendo uniformemente la rigidez longitudinal.



- Concentrando en nervios la rigidez longitudinal, lo cual es más eficiente ya que se ahorra material.



## Puentes tipo viga

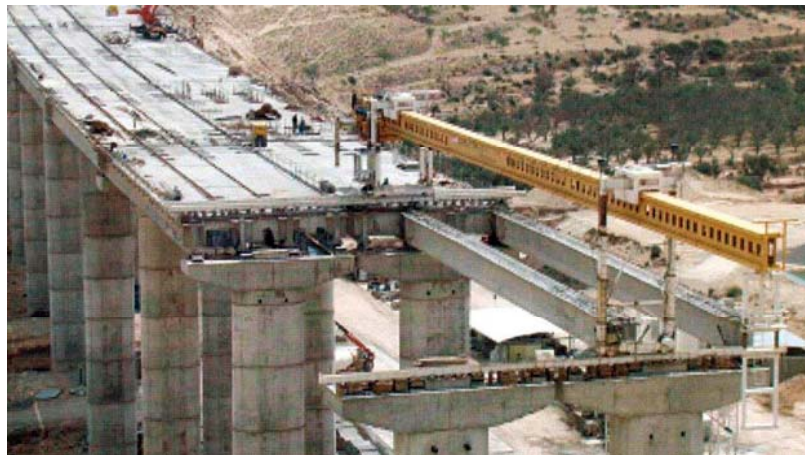
---

La losa superior que materializa el tablero tiene una doble misión:

- Repartir el efecto de las cargas que actúan sobre ella a las vigas longitudinales.
- Contribuir a la inercia de las vigas longitudinales.

### Problema constructivo

Cada una de las vigas que constituyen la superestructura puede ejecutarse independientemente y montarse sobre las pilas o vigas transversales. Esto conduce a menores pesos y la eliminación de las cimbras apoyadas sobre el terreno.



## Puentes tipo viga

Básicamente, existen dos grandes familias de puentes tipo viga:

- Los puentes de vigas hormigonados en sitio mediante cimbrado convencional.
- Los puentes de vigas prefabricadas, en la obra o en planta.



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

## Puentes tipo viga de hormigón en sitio

---

Las secciones transversales conducen, de una manera general, a soluciones semejantes a las de vigas prefabricadas.



La tendencia actual es la disminución del número de nervios, siendo habitual el empleo de sólo uno por cada 5-7 m de ancho de plataforma. En el caso más frecuente de ancho comprendido entre 10-13 m, a soluciones con dos nervios (bipoutre). Se obtienen, por tanto, tableros extremadamente ligeros aunque con una respuesta a torsión mucho menos eficaz que los puentes losa o las secciones en cajón.



**CON UN SOLO NERVIO,  
¿CÓMO TRABAJA EL  
TABLERO?**

## Puentes tipo viga de hormigón en sitio

Relaciones canto/luz: **1/14 a 1/20**.

Utilización óptima: **Soluciones isostáticas** (se concentra el hormigón en la cabeza de compresión y se elimina de la de tracción) → Máximo aprovechamiento resistente de los materiales.

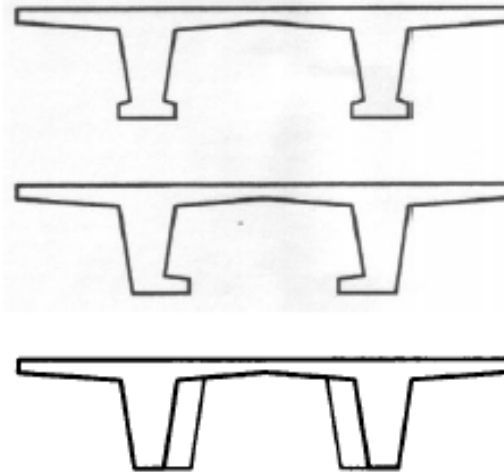
Precaución en tableros continuos ya que la sección presenta una cabeza inferior de compresión mínima. Empleo para luces no superiores a los 30-35 m.

Solución a este último problema:

Aumento de la cabeza inferior en las proximidades de los apoyos continuos.



Poca utilización debido a sus problemas tanto constructivos como de conservación y estéticos, siendo preferible ensanchar las almas interiormente.



## Puentes tipo viga de hormigón en sitio

Su industrialización solo es rentable si el número de vanos es importante, debiendo entonces diseñarse con continuidad longitudinal, dando lugar a los puentes construidos vano a vano, mediante **cimbra autoportante** y frecuentemente **autolanzable**.

Para casos de puentes de luces pequeñas, siempre que sea posible por temas funcionales de la vía inferior, con tableros colocados a poca altura sobre un terreno accesible y relativamente horizontal, es posible construir la superestructura con **cimbraado convencional**. Los andamios pueden apoyarse sobre zapatas provisionales o pueden usarse pilotes.



## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

Estos elementos se realizan en un **parque de prefabricación permanente o a pie de obra** en parques montados a tal efecto, con lo que se evitan los gastos y dificultades que puede ocasionar su transporte.

En las aplicaciones habituales **no es común superar los 45 m.**





## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

---

Las vigas se unen generalmente "in situ" mediante el hormigonado completo de una losa **con encofrado recuperable apoyado o suspendido**, aunque también es frecuente en la actualidad el empleo de **prelosas** que sirven de encofrado y al mismo tiempo, en general, colaboran estructuralmente con el resto de la losa vertida "in situ".



**¿CÓMO Y DÓNDE SE  
EJECUTAN LAS  
PRELOSAS?**

Para facilitar la conservación de la estructura, en esta losa de forjado se debe disponer el menor número posible de juntas de calzada que sea compatible con la flexibilidad de la infraestructura y con las características de los apoyos. En cualquier caso, la distancia máxima entre juntas de dilatación no suele superar los 100 metros.

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados



*Encofrado recuperable apoyado o suspendido.*

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados



*Prelosas.*

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Características del prefabricado

En la actualidad se tiende hacia la prefabricación integral del puente, incluyendo elementos de la infraestructura, a partir de piezas cada vez mayores, limitados exclusivamente por problemas de transporte. Para salvar longitudes importantes con elementos prefabricados, se han ideado soluciones que facilitan la ejecución de estructuras hiperestáticas dándoles continuidad estructural "in situ".

### Ventajas del prefabricado

- Disminuye el tiempo de construcción, las vigas se pueden prefabricar mientras se construye la infraestructura.
- Mejores características mecánicas del hormigón por las condiciones semi-industriales de su fabricación.
- Minimiza los riesgos de trabajos en alturas.
- Limita los efectos de retracción pues una parte se produce antes de su colocación.
- Reduce los efectos por deformaciones diferidas.
- Aumenta el rendimiento de la mano de obra al establecerse un ritmo de construcción.



**¿POSIBLES  
DESVENTAJAS DE  
ESTA SOLUCIÓN?**

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Características del prefabricado

En estos casos de prefabricación y en especial con elementos pretensados, **debe tenerse en cuenta los diferentes estados de carga y de servicio a los que estará sometida la estructura desde su construcción hasta su colocación final.**

Obviamente, deben dejarse en los elementos prefabricados los dispositivos que servirán para izar las unidades.

Asimismo, las unidades deben poseer las esperas de armaduras con longitudes necesarias para asegurar la continuidad de la estructura.

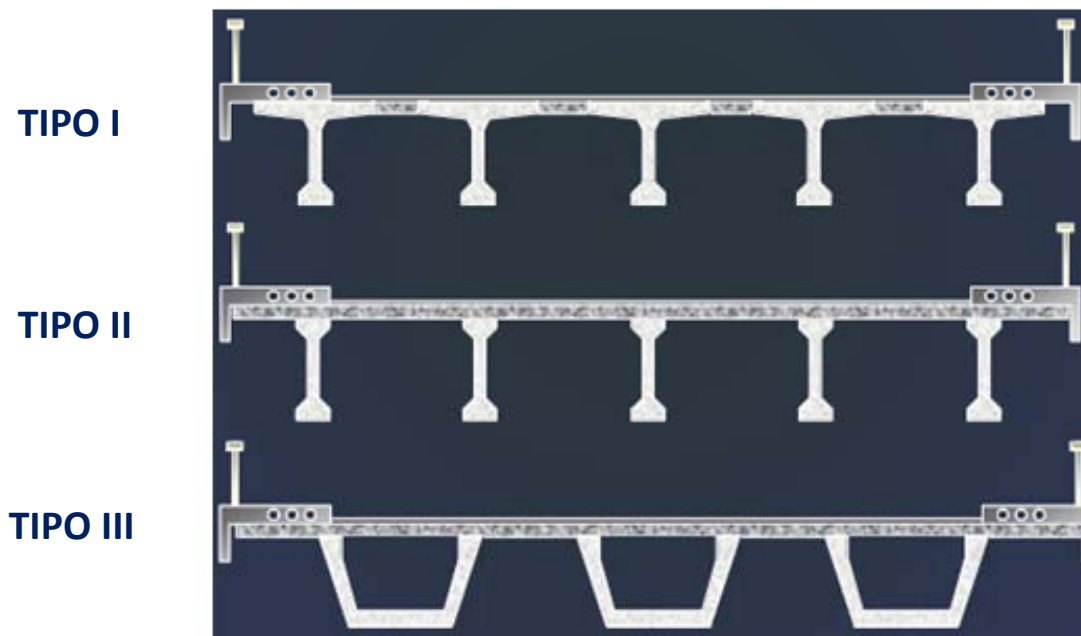


**¿DÓNDE SE  
NECESITA DEJAR  
ESAS ESPERAS?**

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Sección Transversal

Se agrupan en tres tipos, según sea la forma de las vigas prefabricadas y la situación de la losa respecto a ellas:



Las secciones tipo I y tipo II son **vigas doble T**, mientras que las tipo III que se utilizan cada vez con mayor profusión, son las secciones en **artesa** con una o más vigas.

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Sección Transversal

La ejecución de la losa in situ y la disposición de esperas en el prefabricado se ven simplificadas en el caso de losa sobrepuesta.



La cuantía de la losa de los forjados, es función de la separación entre las vigas, pudiendo variar entre 100-175 kg/m<sup>3</sup>. En soluciones con tableros de vigas artesa se puede llegar hasta 250-300 kg/m<sup>3</sup>.

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

---

### Sección Transversal

Es de gran importancia el hecho de que las artesas y cajones dispongan de unos orificios, con los correspondientes tubos de desagüe y en el lugar adecuado de su losa inferior según la geometría de la estructura, para impedir que, ante un fallo de la impermeabilización, el agua que se filtre a través de la losa superior pueda acumularse en el interior de la viga y propiciar así su deterioro y generar aumentos de carga.



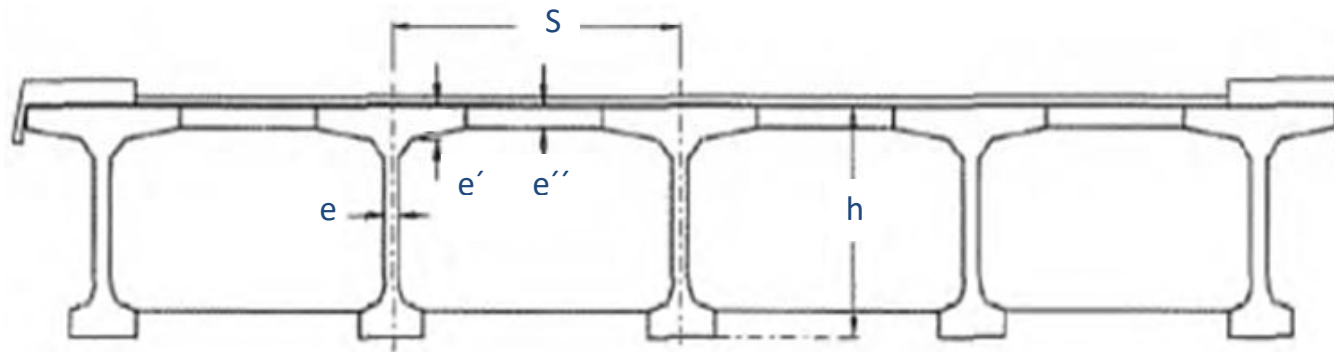


## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Características geométricas

La relación altura/luz ronda  $L/30 < h < L/10$ . En los tres tipos de vigas, la media estadística es  $h=L/16$ .

No obstante, estos valores están muy condicionados por el número de vigas que se disponen en el tablero. Si no existen condicionantes geométricos (gálibos ajustados), la tendencia es disponer pocas vigas de más canto, en vez de más vigas de menos canto, ya que la primera solución es en general más económica que la segunda.



## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Características geométricas

Se recomienda (Y. Guyon):

- $e \text{ (cm)} = h(\text{cm})/36 + 5 \text{ cm} + \text{diámetro de vainas}$
- $S \text{ (m)} = L(\text{m})/36 + 2 \text{ m}$
- $e'(\text{cm}) = S(\text{cm})/9 - 6 \text{ cm}$
- $e''(\text{cm}) = 0.6 * e'(\text{cm})$
- Disponer 5 arriostramientos transversales (diafragmas) como mínimo, dos en los apoyos y tres a los cuartos y centro del vano.



**¿CUÁNDO APLICAR  
ESTAS  
RECOMENDACIONES?**

Por otro lado en los casos en que no haya arriostramientos transversales el espesor de la losa debe cumplir:

$$S/20 \leq e'' \leq S/15 \text{ y } e'' \geq 20 \text{ cm}$$

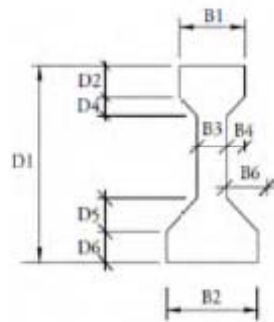
donde  $S$  es la distancia entre ejes para vigas doble "T" o la distancia entre almas para vigas "artesa".

El ancho de la cabeza de compresión debe ser  $0.80h$  en los puentes viga tipo I.

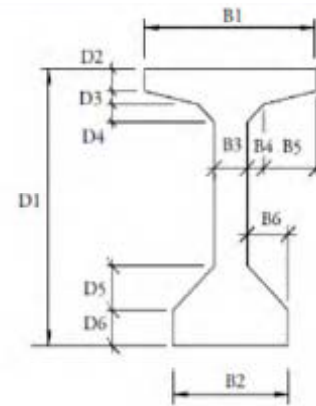
## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Características geométricas

*Ejemplo de vigas tipo AASHTO*



Type I-IV



Type V-VI

Dimensions (inches)

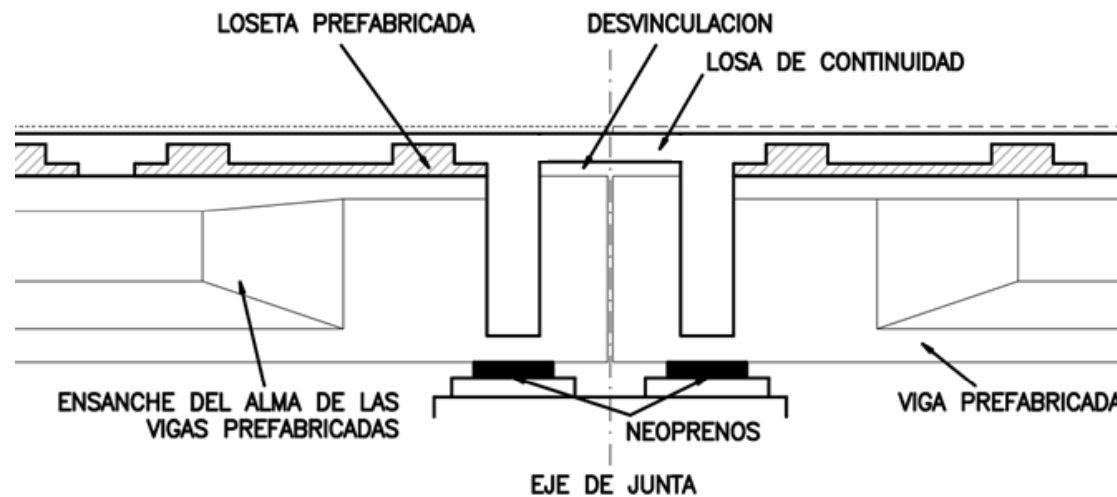
Type	D1	D2	D3	D4	D5	D6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
I	28.0	4.0	0.0	3.0	5.0	5.0	12.0	16.0	6.0	3.0	0.0	5.0
II	36.0	6.0	0.0	3.0	6.0	6.0	12.0	18.0	6.0	3.0	0.0	6.0
III	45.0	7.0	0.0	4.5	7.5	7.0	16.0	22.0	7.0	4.5	0.0	7.5
IV	54.0	8.0	0.0	6.0	9.0	8.0	20.0	26.0	8.0	6.0	0.0	9.0
V	63.0	5.0	3.0	4.0	10.0	8.0	42.0	28.0	8.0	4.0	13.0	10.0
VI	72.0	5.0	3.0	4.0	10.0	8.0	42.0	28.0	8.0	4.0	13.0	10.0

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Configuración longitudinal

La configuración más usual implica que las vigas se apoyan sobre pilares mediante neoprenos. Entre vanos se disponen losas de continuidad que están desvinculadas de las vigas longitudinales pero conectadas al resto del tablero a través de la losa superior.

En esta situación, **cada vano presenta la misma luz** y se considera **para el cálculo completo de la viga** como si la misma fuera **isostática**.

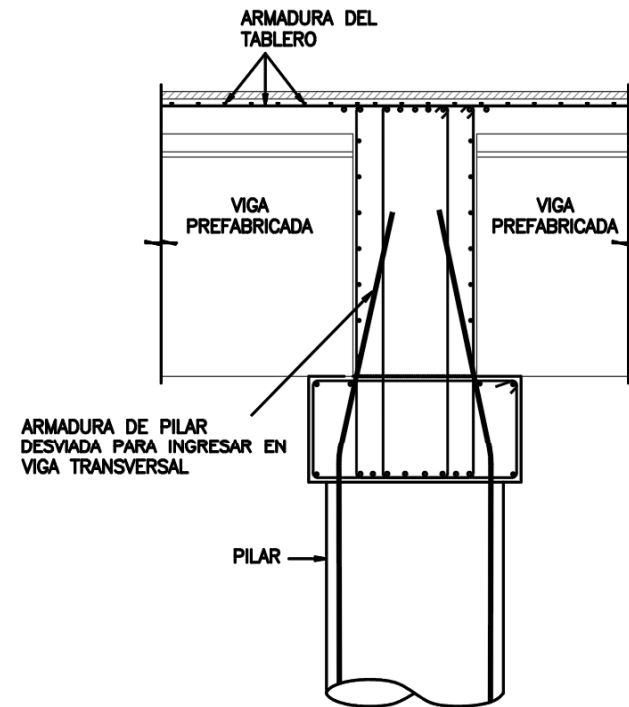


## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Configuración longitudinal

Existe la posibilidad a su vez, que las vigas prefabricadas se vinculen rígidamente con los pilares, apoyándose sobre la parte superior de los mismos con posterior hormigonado entre las vigas y del tablero.

En este caso, donde existe una continuidad estructural directa, la relación óptima entre los vanos extremos e intermedios es aproximadamente  $L_1 = 0.9 L$ .



## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

---

### Configuración longitudinal

Se considera (en forma simplificada) **para el cálculo** de la **viga**:

- como **isostática** para las hipótesis de carga de **peso propio de la viga y el llenado en sitio**.
- como **continua** para las hipótesis de carga de **terminaciones y sobrecarga de uso**.



**¿ES POSIBLE UNA  
REDISTRIBUCIÓN DE  
ESFUERZOS?**

El armado de continuidad puede realizarse solo mediante armadura pasiva, tanto en losa superior como en el talón (si las vigas son prefabricadas, ello exige esperas) o bien con armadura pasiva y activa.

La continuidad introduce algunos problemas constructivos complejos. A todo ello se añade el problema de la transición de cargas entre apoyos provisionales de las vigas y apoyo final del tablero continuo.

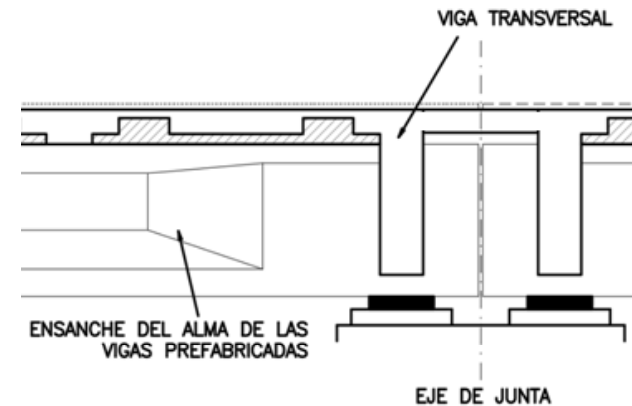
## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Configuración longitudinal

Una disposición que favorece la transición de tensiones tangenciales al aproximarnos a los apoyos consiste en aumentar linealmente el espesor del alma de la viga.

Por su parte, la viga transversal sobre apoyos se ejecuta en obra y permite coaccionar el giro de torsión de cada una de las vigas longitudinales, favoreciendo de ese modo el reparto transversal del tren de cargas. Asimismo, permite transmitir los esfuerzos horizontales a la infraestructura de una forma más eficaz.

Hoy en día la disposición más usual consiste en prescindir de ambas mejoras. Otra práctica en desuso es la disposición de vigas transversales intermedias.



Eliminación de viga transversal y ensanche del alma



## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Procedimientos constructivos

La utilización de un procedimiento u otro depende en cada caso de la accesibilidad de la obra, la altura del tablero sobre el terreno, la longitud de la obra de paso, etc. Los tableros con vigas prefabricadas son, en general, los que permiten obtener mejores rendimientos en lo que se refiere al plazo de ejecución.

### Por elevación mediante grúas (una o dos)

Este es el método más común siempre que el peso de los elementos y el nivel de la rasante lo permita. Cuando el peso de los elementos no es excesivo, pero las alturas de rasante son elevadas, el montaje se puede realizar con una grúa que se apoya en el ya construido tramo anterior, para montar el tramo siguiente.



**¿CÓMO SE IZA CON  
UNA GRÚA SOLA?**



## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Procedimientos constructivos

#### Por elevación mediante grúas (una o dos)



*Colocación de vigas prefabricadas en el nuevo puente sobre el Canal Andreoni en la Ruta 9.*

## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

### Procedimientos constructivos

Por lanzamiento longitudinal, mediante viga de lanzamiento o mediante torres y cables.

Las vigas de lanzamiento consisten en esencia en unas grandes vigas en celosía metálica que, apoyándose en las pilas del puente, transportan las vigas a su posición definitiva e incluso las pueden desplazar lateralmente (ripado). La ventaja de su uso está dada por la facilidad de montaje y desmontaje de la estructura metálica auxiliar.



**VER VIDEO**



## Puentes tipo viga de hormigón prefabricados

---

### Procedimientos constructivos

#### Transporte y elevación desde plataforma flotante



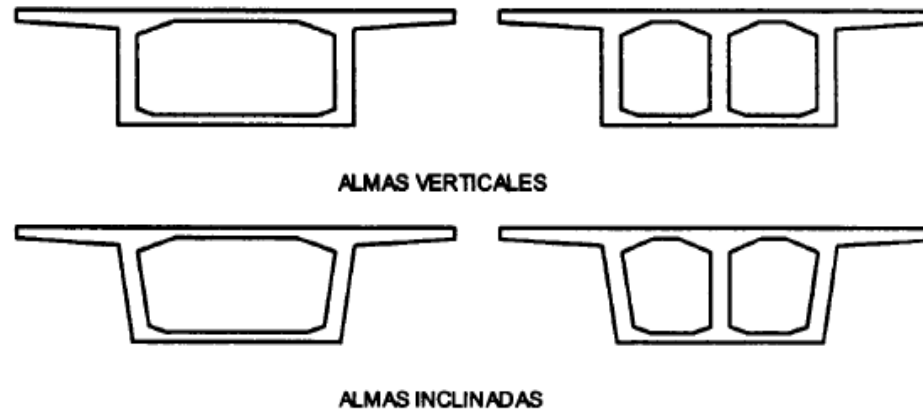
*Levantamiento de vigas prefabricadas en el puente Presidente Costa e Silva que une Río de Janeiro y Niteroi.*

## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

Son puentes cuya sección está conformada por un cajón (mono o multicelular) rematado superiormente por voladizos. Se emplean en puentes de luces mayores (en las de canto constante de 35 - 80 m y las de canto variable de 80 - 200 m) y en puentes curvos o esviados (fuerte presencia de torsión).

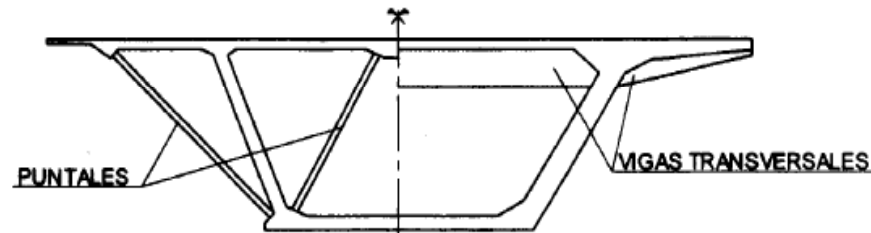


Los tipos de sección transversal más habituales son:



## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

Puesto que la mayor simplicidad de ejecución se consigue con el cajón único, la tendencia actual es adoptar secciones monocelulares hasta anchos de tableros de 16 m, aunque se ha llegado a alcanzar los 20 m. También se emplea el cajón único para secciones de anchos superiores (hasta 30 m), estabilizando los voladizos y la losa central con puntales o vigas transversales.



Las relaciones canto/luz más habituales en tableros de hormigón pretensado, que es el material utilizado casi siempre para esta tipología, son:

- Canto constante:  $1/18$  a  $1/22$ .
- Canto variable:  $1/18$  a  $1/22$  (sobre pilas) y  $1/40$  a  $1/55$  (en el centro del vano y estribos).

Los espesores de losas y almas deben fijarse en función de los fenómenos de flexión, cortante, torsión y punzonamiento que se desarrollen, así como por facilidad de hormigonado y la disposición del pretensado.

## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

### Procedimientos constructivos

#### Cimbrado convencional

#### Fases o tramos sucesivos

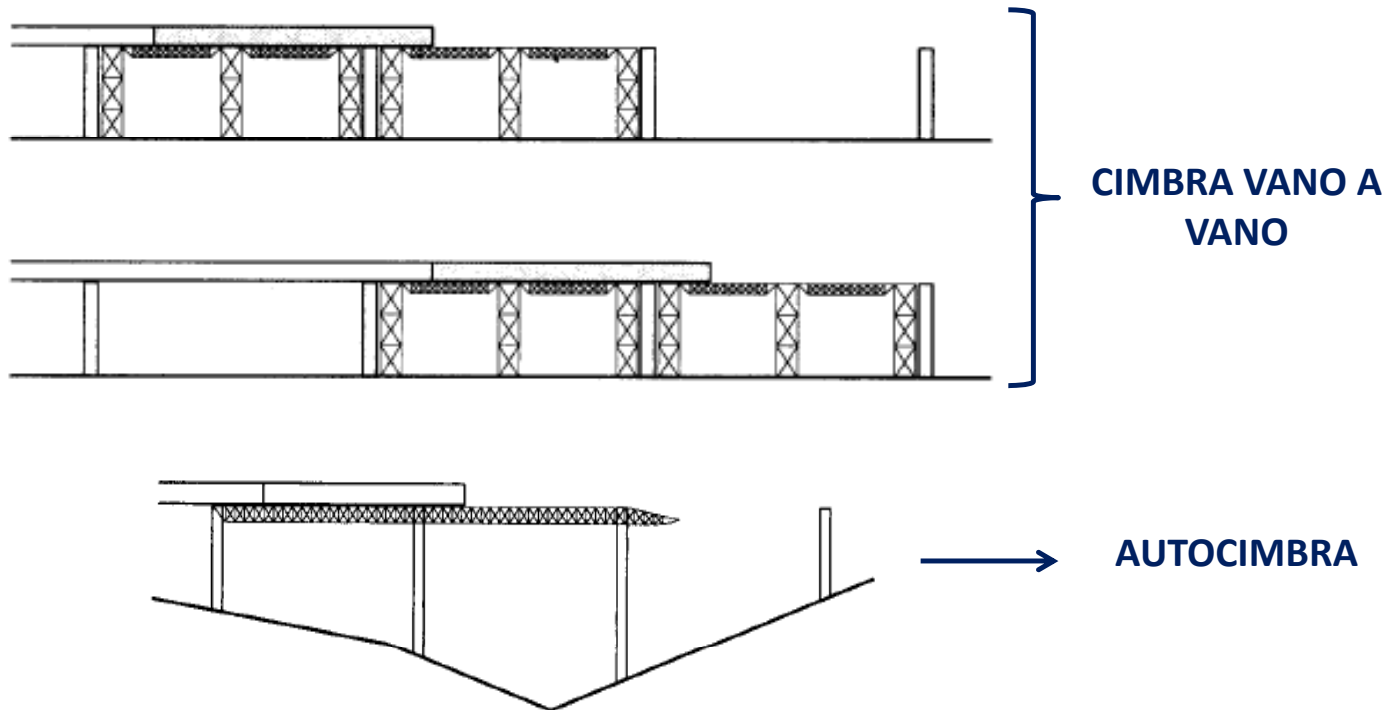
Puede ser con cimbra vano a vano o con autocimbra. Es necesario dar continuidad al pretensado longitudinal correspondiente a cada fase. Como alternativa a la disposición de acopladores se recurre con frecuencia al solape de los tendones. Rango de luces: 35 - 55 m.



## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

### Procedimientos constructivos

#### Fases o tramos sucesivos



## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

### Procedimientos constructivos

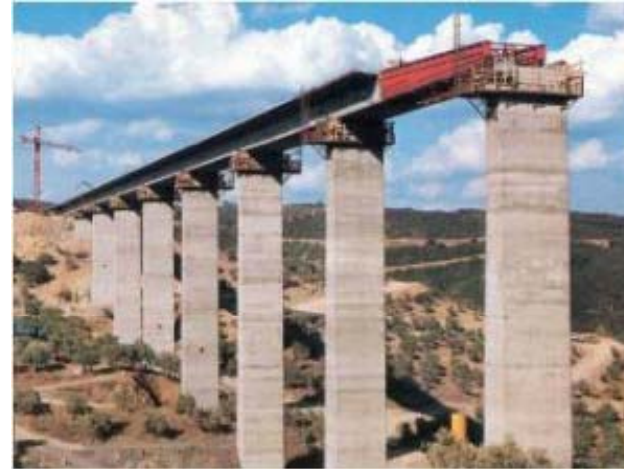
#### Empuje

Trazado: Recto con pendiente uniforme o planta circular.

Consiste en ir ejecutando el tablero en un extremo del puente, en segmentos no mayores de la mitad de la longitud del vano máximo, para irlo empujando mediante un sistema de doble gato (vertical y horizontal) hasta su posición definitiva (centradas sobre las pilas) mediante la ayuda de un pescante de lanzamiento. Mediante ese pescante se reducen los esfuerzos en el extremo de la estructura que avanza en ménsula.

Económicamente es un procedimiento con instalaciones costosas. Es usado para longitudes totales superiores a los 300 - 400 m.

Rango de luces: 35 - 50 m.

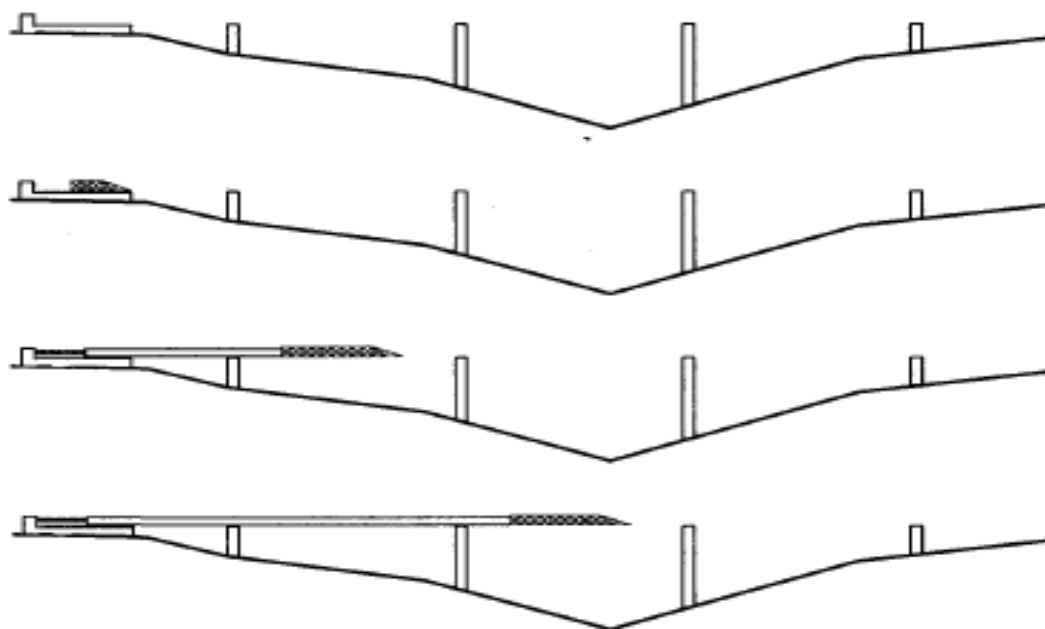




## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

### Procedimientos constructivos

#### Empuje



**VER VIDEO**

## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

### Procedimientos constructivos

#### Voladizos sucesivos

El tablero se apoya en puntos fijos y, a partir de ellos, en la realización de cada nuevo tramo (**dovelas**) se va avanzando de manera que se vayan creando estructuras parciales autoportantes o apoyadas en elementos auxiliares.

Rango de luces:

- 80 - 200 m en dovelas "in situ".
- 50 - 80 m en dovelas prefabricadas de altura constante.
- 70 - 150 m en dovelas prefabricadas de canto variable.

La construcción de tableros hormigonados en sitio se suele realizar con "carros de avance", que pueden moverse en voladizo por un solo lado ayudados por un atirantamiento provisional desde la pila o por ambos lados.



## Puentes tipo viga de hormigón con sección cajón

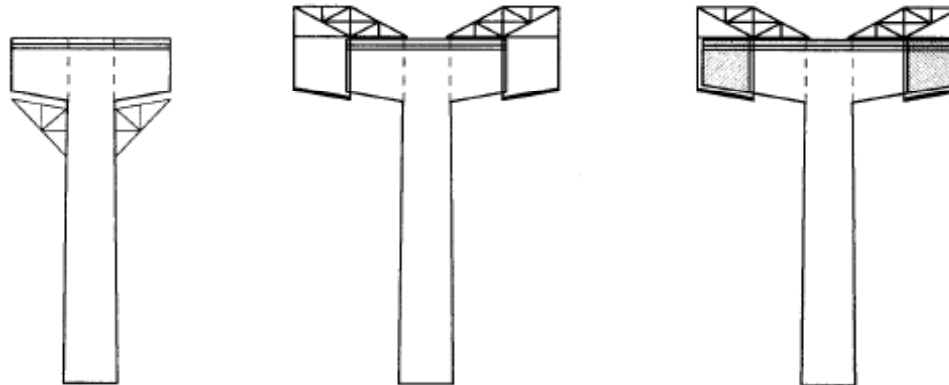
### Procedimientos constructivos



**VER VIDEO**

### Voladizos sucesivos

1. Ejecución, mediante encofrado apoyado en la coronación de las pilas, del comienzo del puente o dovela "0".
2. Colocación de carros de avance y avance simétrico de los mismos para ejecutar el tablero.
3. Unión de las mitades del vano y establecimiento, en general, de la continuidad estructural.



Es importante tener en cuenta que en función del vínculo existente con el pilar, el mismo puede estar sometido a momentos flectores por la diferencia de cargas a ambos lados, o ser necesarios apoyos adicionales provisionales en puntos intermedios.

## Puentes tipo viga mixtos

---

En general se puede afirmar que las estructuras mixtas añaden a las ventajas de las estructuras prefabricadas, las de un peso propio reducido en la fase metálica que puede ya ser portante para la primera fase de hormigonado y por ende autoportante. A su vez, los cantos pueden ser inferiores a los de soluciones análogas en hormigón, para mismas luces.

Estas condiciones hacen muy adecuada su utilización en los casos en que se requiera:

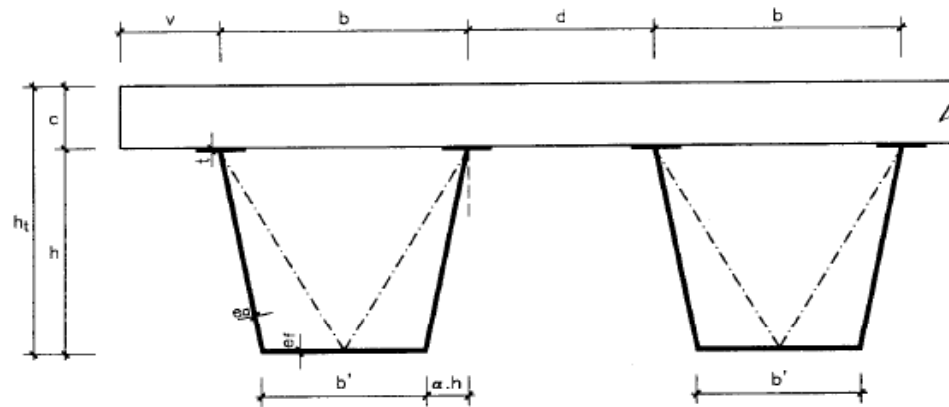
- Secciones de gran esbeltez, como cuando los gálibos son reducidos.
- Elementos muy ligeros que faciliten su transporte y montaje.
- Reducido peso propio de la estructura.
- Rapidez de ejecución, conveniente si la construcción interfiere tráfico existentes.
- Cumplir con ciertas condiciones estéticas.

Por contra suelen necesitar un mayor mantenimiento para su protección contra la corrosión y, por tanto, el costo de ejecución y conservación puede ser superior al de las estructuras de hormigón. La utilización de aceros autopatinables (Corten, Ensacor, etc.) pueden llegar a mitigar los problemas de conservación.

## Puentes tipo viga mixtos

### Sección Transversal

Cajones metálicos, únicos o múltiples, con losa superior de hormigón



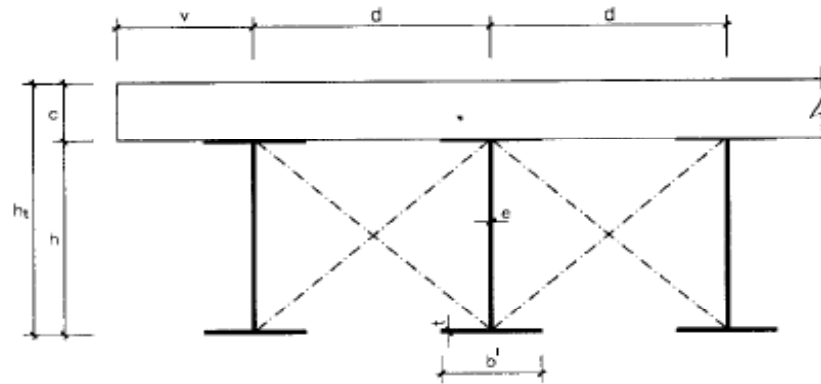
### DIMENSIONES RECOMENDADAS

1. Vuelo lateral de la losa:  $v \leq b/2 \leq 3,50$  metros
2. Ancho superior del cajón:  $b \leq 3,50 h$
3. Distancia libre entre cajones:  $d \leq 3,50 h$
4. Canto de la losa:  $c = 0,10 v$ ;  $\geq 0,20$  metros;  $\leq 0,30$  metros
5. Inclinación de las almas:  $\alpha \leq 0,5$

## Puentes tipo viga mixtos

### Sección Transversal

#### Vigas doble T metálicas con losa superior de hormigón



### DIMENSIONES RECOMENDADAS

1. Vuelo lateral de la losa:  $v \leq 1,75 h \leq 3,50$  metros
2. Distancia entre ejes de vigas:  $d \leq 3,50 h$
3. Canto de la losa:  $c = 0,10 v; \geq 0,20$  metros;  $\leq 0,30$  metros

## Puentes tipo viga mixtos

---

### Sección Transversal

El espesor del alma, normalmente estará comprendido entre  $h/80$  y  $h/200$ , si no se disponen rigidizadores longitudinales, siendo "h" el canto del cajón metálico o la viga. Dicho espesor deberá ser mayor o igual a 8 mm.

El espesor de la chapa de fondo del cajón y de las alas de la viga, deberá ser mayor a  $b'/60$  si está comprimida y no existen rigidizadores longitudinales. Si se disponen rigidizadores longitudinales, es aplicable esta limitación sustituyendo  $b'$  por la distancia máxima entre rigidizadores. Si está traccionada, entonces el espesor de dicha chapa debe ser mayor a  $b'/120$ .



**¿POR QUÉ ESTAS  
DIFERENCIAS?**

En secciones tipo cajón, el canto total (cajón + losa) suele variar entre  $L/27$  y  $L/33$ , mientras que en las secciones con vigas los cantos totales (viga + losa) están comprendidos entre  $L/22$  y  $L/28$ .

## Puentes tipo viga mixtos

---

### Procedimientos constructivos

Los tableros mixtos son muy sensibles al proceso constructivo elegido. Si se disponen apeos provisionales de la estructura metálica antes de hormigonar la losa, se consigue un ahorro de acero y una mayor esbeltez, ya que el peso propio de la losa solicita a la estructura mixta completa (al retirar los apuntalamientos) en lugar de tener que ser resistido sólo por la estructura metálica.

Con las estructuras mixtas también puede existir un ahorro muy significativo de los elementos de rigidización de las chapas comprimidas al hacer que la fibra neutra ascienda, disminuyendo o incluso anulando la parte metálica comprimida que, por otra parte, queda arriostrada con la propia losa de hormigón.





## Puentes tipo viga mixtos

---

### Procedimientos constructivos

Las vigas metálicas se ejecutan en el taller, siendo perfiles laminados o vigas realizadas con chapas soldadas. Se montarán en taller los mayores tramos posibles compatibles con las exigencias del transporte y con los medios de puesta en obra.

Los procedimientos de montaje en obra más habituales son mediante:

- Una o dos grúas.
- Lanzamiento de la estructura metálica.
- Empuje de la estructura metálica o eventualmente sección completa.

Respecto a la losa de hormigón, los procedimientos más habituales son:

- Hormigonado sobre encofrados convencionales apoyados en las vigas.
- Hormigonado sobre chapas metálicas nervadas (encofrado perdido).
- Hormigonado sobre prelosas armadas o pretensadas.
- Colocación de losas prefabricadas que se unen a las vigas concentrando los elementos de conexión en zonas determinadas.

## Puentes tipo viga mixtos

### Procedimientos constructivos



## Puentes tipo viga mixtos

### Procedimientos constructivos



## Puentes tipo viga mixtos

---



## Puentes tipo viga mixtos

*Puente nuevo sobre el río Santa Lucía en ruta 1.*



**VER VIDEO**



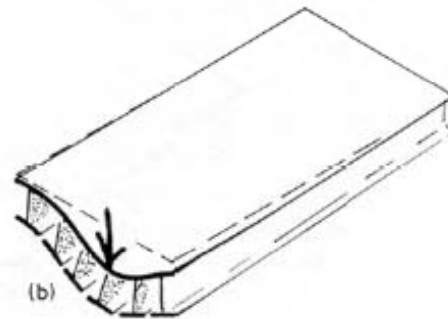
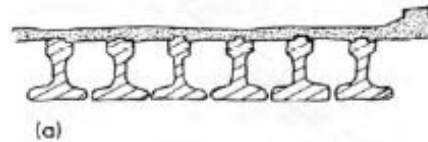
*Paso superior sobre el Paseo de la Castellana.*

## Cálculo

Salvo en puentes largos y estrechos, en general no podremos emplear el modelo viga, debiendo optar por alguno de los siguientes:

### Modelo losa

La definición del modelo es sencilla (rigideces de la losa ortótropa equivalente) pero su validez requiere un número mínimo de elementos longitudinales. Requiere a su vez cálculo local posterior.

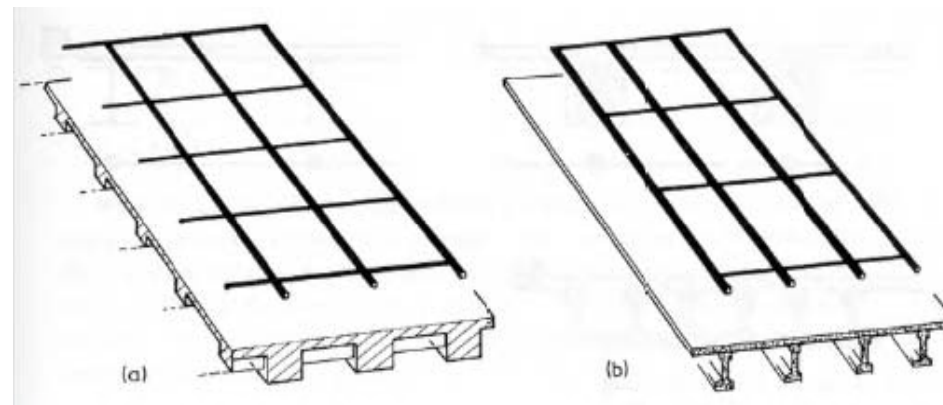


## Cálculo

### Modelo emparrillado

Es mucho más versátil que el anterior y especialmente adecuado para tableros de vigas, por la correspondencia entre vigas físicas y del modelo. Se requiere cálculo local posterior.

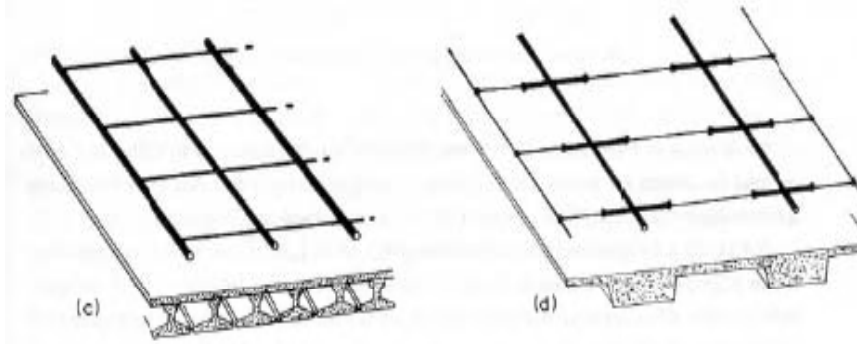
Emparrillado plano: es eficiente y su aplicación es extensa en los tableros de vigas más usuales. No reproduce el trabajo de membrana de la losa superior.



*Emparrillados planos para tableros de vigas y losa (a) con y (b) sin diafragmas transversales.*

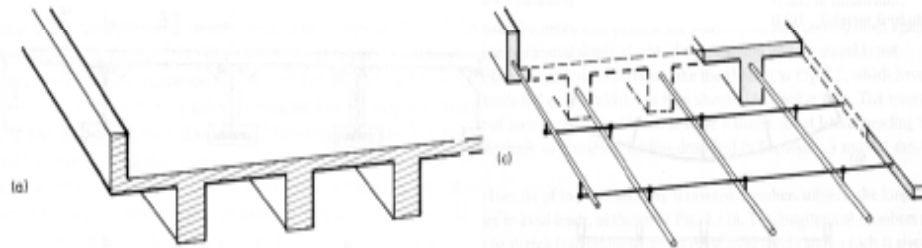
## Cálculo

### Modelo emparrillado



*Emparrillados planos para tableros de vigas y losa (c) con vigas yuxtapuestas y (d) con vigas anchas.*

Emparrillado espacial: el defecto del emparrillado plano se atenúa introduciendo nudos de dimensión finita con el fin de materializar la excentricidad existente entre los ejes de las dos familias de barras.



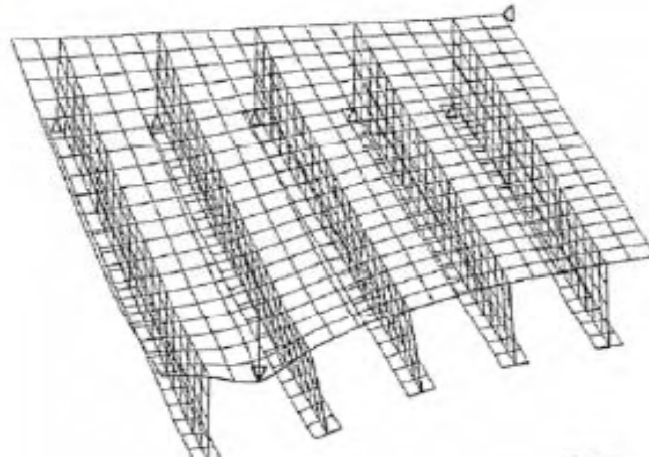


## Cálculo

---

### Modelo lámina plegada

Es el más sofisticado y complejo, pero también el más exacto puesto que se adapta mejor a la geometría real del sólido, especialmente si se trata de un tablero de pared delgada. No requiere cálculo local.



### Modelo híbrido

Nace de la voluntad de simplificar el anterior. Mantiene la modelización como placa de la losa superior (luego tampoco requiere cálculo local) pero sustituye las vigas reales por elementos lineales.

## 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.
- Guía para el diseño de puentes con vigas y losas. Ernesto Seminario Manrique. Universidad de Piura.
- Bridge Deck Behaviour. 2nd Edition. E.C. Hambly.
- Ingeniería de Puentes. Análisis estructural. Salvador Monleón Cremades.