



**01 Motivación e Introducción**

**02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

**03 Diseño de subestructuras**

**<estribos, pilas, aparatos de apoyo y juntas de dilatación>**

**04 Diseño de tableros de hormigón**

**<tableros de vigas prefabricadas, tableros losa y tableros en cajón>**



**<economía global, obra SFD>**

1. **Motivación e introducción.** *Motivación: objetivos y organización didáctica del curso. Introducción: reflexiones sobre el Diseño y Concepción de puentes ¿dónde estamos en el siglo XXI?*
2. **Selección de la tipología y diseño de equipamientos.** *El problema de la elección del tipo de puente: una estrategia para el diseño. Estado del arte de las obras SFD. Marco normativo, Documentación Oficial y Recomendaciones para el diseño de puentes. Diseño de los equipamientos: revestimiento de la calzada, aceras y bordillos, evacuación de aguas y ubicación de conducciones, impostas, barandillas y barreras de seguridad, iluminación*
3. **Diseño de subestructuras.** *Concepción de estribos: función del estribo y elementos constitutivos, acciones sobre estribos, morfología de estribos y Estados Límite a verificar. Concepción de pilas: características generales de las pilas, acciones sobre pilas, morfología de pilas, consideraciones sobre el análisis lineal y no lineal de pilas. Aparatos de apoyo y juntas de dilatación: desplazamientos de las estructuras, morfología y dimensionamiento de aparatos de apoyo, tipología de juntas de dilatación*

## 4. Diseño de tableros de hormigón

**4.1 Concepción de tableros de vigas.** Características morfológicas de los tableros de vigas. Características estructurales. Diseño de tableros de vigas. Algunos aspectos del análisis y construcción de tableros de vigas. Ejemplos y tablas para el dimensionamiento

**4.2 Concepción de tableros losa.** Características morfológicas de los tableros losa. Características estructurales. Diseño de tableros losa. Algunos aspectos del análisis y construcción de tableros losa

**4.3 Concepción de tableros en cajón.** Características morfológicas de los tableros en cajón. Características estructurales. Diseño de tableros en cajón. Revisión de los procedimientos constructivos de tableros en cajón. Problemas específicos de análisis, diseño y ejecución

**1.1 Motivación**

**1.2 Introducción**



# 01 Motivación e introducción

## □ OBJETIVOS DEL VOLUMEN (II): *ELEMENTOS de DISEÑO de PUENTES*

- Los objetivos de este segundo bloque del curso pueden resumirse como sigue: proporcionar al alumno los conocimientos suficientes para **abordar correctamente** la concepción de un puente en los aspectos formales, resistentes, funcionales y constructivos, y saberlo **resolver técnicamente** dentro de unos límites aceptables de complejidad (pongamos  $L < 200$  m)
- Este último argumento junto con la duración del curso (un cuatrimestre) justifican el centrar la materia en la familia de los puentes más básicos desde un punto de vista tipológico y constructivo: los **tableros sobre pilas**

# 01 Motivación e introducción

## □ ORGANIZACIÓN DIDÁCTICA

Este volumen (II) se ha organizado en *tres* grandes unidades didácticas:

### 1) SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA Y DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS

### 2) DISEÑO DE SUBESTRUCTURAS

### 3) DISEÑO DE TABLEROS DE HORMIGÓN

2.1 Estribos

2.2 Pilas

2.3 Aparatos de apoyo y juntas de dilatación

3.1 Tableros de vigas

3.2 Tableros losa

3.3 Tableros en cajón

# 01 Motivación e introducción

## REFLEXIONES sobre el Diseño y Concepción de Puentes *¿DÓNDE ESTAMOS EN EL SIGLO XXI?*

---

Los conceptos SFD (Seguridad Funcionalidad Durabilidad), típicamente ingenieriles, aparecen desde el origen y en las etapas esenciales de la **EVOLUCIÓN** de este campo. Los encontramos

- En el imperio romano
- En los siglos XVIII y XIX

El progreso en la concepción de los puentes ha sido siempre debido exclusivamente al **esfuerzo y al talento de los INGENIEROS CIVILES**

- Perronet
- Telford y Brunnel
- Roebling, Ammann, Lidenthal
- Freyssinet, Finsterwalder

# 01 Motivación e introducción

## REFLEXIONES sobre el Diseño y Concepción de Puentes *¿DÓNDE ESTAMOS EN EL SIGLO XXI?*

---

☐ Su herencia constituye nuestro patrimonio, nuestra primera fuente de inspiración, hecho que debemos reconocer abiertamente, como homenaje y reivindicación de **nuestra aportación al PROGRESO de la sociedad**. El conocimiento de la historia de los puentes, sobre todo en el periodo 1850-1950, proporciona al estudiante un **catálogo** extraordinario de soluciones

- Estructurales (materiales, morfologías longitudinales y transversales...)
- Constructivas (técnicas, detalles: tímpanos triangulados, anclajes, viga de rigidez...)

Todas desarrolladas por **ingenieros civiles europeos**. En esa época, el orden universal que parecía describir la teoría matemática de la física (los campos de fuerzas...) les proporcionó una **ética** y una **estética**

# 01 Motivación e introducción

## REFLEXIONES sobre el Diseño y Concepción de puentes *¿DÓNDE ESTAMOS EN EL SIGLO XXI?*

---

El catálogo que seguimos proporcionando no es revolucionario. Es una imagen estática, poco atrevida. De hecho no pretende indicar el camino futuro. Este vendrá de la mano de los ingenieros en

- Materiales
- robótica/informática (estructuras inteligentes para una mayor seguridad, durabilidad y economía)

No debemos dejarnos deslumbrar por los “*artistas*” emergentes y algunos planteamientos “*tout pour l’oeil*”. Debemos ser fieles a nuestras *raíces y orígenes* y además, amar la obra de nuestros mayores

## **2.0 Motivación**

### **2.1 El problema de la elección del tipo de puente: una estrategia para el diseño**

**<datos, condiciones iniciales y proceso creativo>**

### **2.2 Estado del arte de las obras SFD**

**<luz de vano VS materiales, tipologías y sistemas constructivos>**

### **2.3 Marco normativo**

**<documentos oficiales y manuales para el diseño de puentes>**

### **2.4 Diseño de equipamientos**

**<pavimentos, bordillos, evacuación de aguas, impostas, defensas e iluminación>**



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ El objeto de este tema consiste en exponer de forma racional como **determinar el tipo de construcción** más adecuada a un problema concreto, definido a partir del enunciado de las condiciones a satisfacer

□ Para conseguir este fin, es preciso conocer simultáneamente las **necesidades existentes** y **los medios disponibles**. Ambos aspectos estructuran el contenido del tema, comenzando por revisar de forma ordenada el conjunto de condiciones y datos iniciales:

- **datos naturales**
- **datos dimensionales y funcionales**
- **otras condiciones a considerar**

y posteriormente propondremos un catálogo de **tipologías genéricas**, con el que se pueda facilitar una primera aproximación a la solución del problema

□ Además, el tema también incorpora información sobre:

- **Marco normativo**
- **Diseño de equipamientos**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### □ PRIMERAS REFLEXIONES:

- 1) Pretendemos establecer unas directrices de actuación intentando **racionalizar** al máximo el problema, pero la práctica muestra como frecuentemente las estructuras concebidas nacen de un proceso muy distinto, respondiendo a otro tipo de intereses que los del máximo aprovechamiento de los fondos públicos
- 2) El Ingeniero Civil es, por vocación y tradición, un **técnico al servicio de la Sociedad**. Su actividad se centra en el diseño, construcción y explotación de las grandes obras de infraestructura, que involucran siempre, de forma directa o derivada, la **gestión de recursos públicos**, y no se puede frivolar sobre estas cuestiones
- 3) Además, las características de su formación, carente de materias orientadas hacia el desarrollo de la **sensibilidad creativa** (*los planes de estudio solo lo permitirían en detrimento de su formación físico-matemática, indispensable para que las construcciones sean seguras*) determinan el lenguaje que es capaz de entender y utilizar en la mayoría de los casos
- 4) Por ello, creemos que desde el principio se debe establecer normas para el desarrollo de la asignatura, definiendo de forma nítida lo que debe exigirse al proyecto de un puente, atendiendo a **criterios objetivos** como son la **funcionalidad** (de la cual la **seguridad** es un elemento más: *SFD*) y la **economía**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### 1. Datos naturales

- *Topografía*
- *Geología y geotecnia*
- *Acciones naturales de carácter excepcional*
- *Cursos de agua (socavación, desagüe hidráulico...)*

### 2. Datos dimensionales y funcionales

- *El trazado*
- *Los gálibos*
- *Las acciones reglamentarias*

### 3. Otras condiciones

- *Las impuestas por la administración*
- *El proceso constructivo*
- *Los equipamientos de la superestructura*
- *Consideraciones sobre la estética de la obra*

#### <2.1.1 Datos y condiciones iniciales>

#### <2.1 EL PROBLEMA DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PUENTE: UNA ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO>

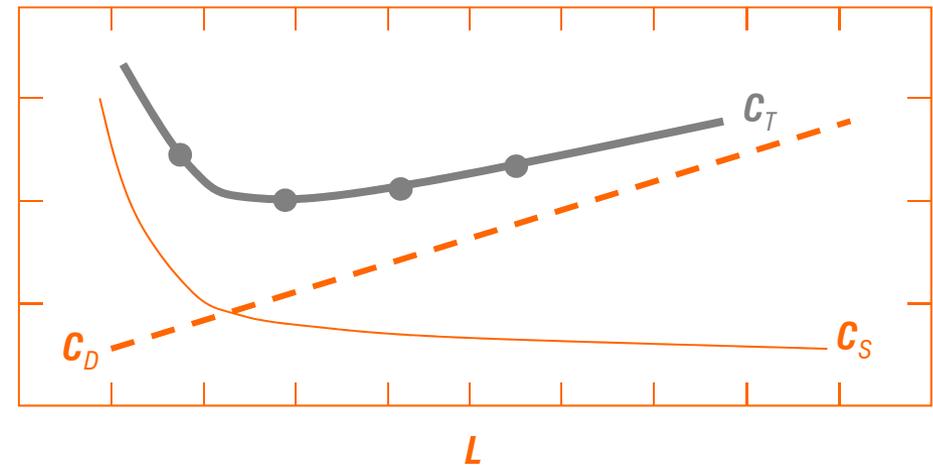


## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ Este conjunto de *condiciones y datos iniciales* interviene principalmente en:

- (a) la definición del **ancho de plataforma  $B$** , que suele venir *impuesto* por la propiedad
- (b) la definición de los **apoyos intermedios**, es decir el  **$N^{\circ}$  de vanos** y luz  $L$  asociada, resultantes de las **características geo-morfológicas del emplazamiento y del trazado**

□ La elección del tipo de **puente más adecuado** debe hacerse en función de cada luz de vano  $L$  determinada en (b), tomando como función objetivo el coste  $C_7$  del puente referido al  $M^2$  de tablero (*conviene tener en cuenta que cada disposición de vanos puede llevar asociada una tipología diferente*)



### <2.1.2 El proceso creativo>

### <2.1 EL PROBLEMA DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PUENTE: UNA ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO>



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### □ NUESTRA PROPUESTA: UNA ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO

#### -0 FASE DE ESTUDIO (concursos de ideas...)

-01 **Condiciones y datos iniciales:** los listados anteriormente, con el fin de definir completamente el marco de actuación. Esencial importancia tienen las características físicas del emplazamiento, en particular las condiciones hidráulicas, que son clave en la selección de la luz de vano y la tipología longitudinal asociada

-02 **Selección de la tipología:** diseño estructural longitudinal y transversal, por ese orden y con el fin de configurar el esqueleto resistente del puente. Es de suma importancia en este proceso las relaciones **B/L** que deriven de la consideración de los distintos vanos compatibles con **01**. En esta fase debemos recurrir:

- Al estado del arte (*matizando el **papel determinante del emplazamiento**, en general sustraído de esta visión global del problema*)

- A casos similares (*búsqueda bibliográfica y en la red...*)

- A nuestra **experiencia** y/o a **técnicas multicriterio**

-03 **Justificación resistente:** se trata de un chequeo básico de la seguridad estructural (*modelo simplificado...*)

-04 **Diseño de equipamientos:** la “piel” puesta sobre el esqueleto (*un puente es, salvo excepciones, **estático** y por lo tanto no necesita “músculos”*)

### <2.1.2 El proceso creativo>

### <2.1 EL PROBLEMA DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PUENTE: UNA ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO>



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### □ NUESTRA PROPUESTA: UNA ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO

#### ▪1 PROYECTO BÁSICO (o anteproyecto, no siempre se encarga, aunque es deseable)

▪11 **Revisión de los equipamientos:** se trata de confirmar su diseño funcional y formal y de configurar la sección transversal (pendientes, sobre-anchos...) para adecuarla a la geometría de estos

▪12 **Modelado estructural global:** requiere seleccionar los modelos más adecuados para el sistema primario y las subestructuras, sin olvidar modelar los aparatos de apoyo (*conexiones elásticas y desconexiones*) y en su caso el terreno

▪13 **Detalles estructurales genéricos:** armado general, activo y pasivo, uniones soldadas tipo, cálculo y diseño de aparatos de apoyo y juntas de dilatación

▪14 **Fases del proceso constructivo:** definidas de forma esquemática

#### ▪2 PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

▪21 **Modelado estructural local:** para chequear acciones locales, abolladura...

▪22 **Desarrollo de detalles estructurales completos**

▪23 **Chequeo resistente de las fases constructivas**

### <2.1.2 El proceso creativo>

### <2.1 EL PROBLEMA DE LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PUENTE: UNA ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO>



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### Puentes de un solo vano

$L < 15$ m	Pequeñas obras de fábrica <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pontones de hormigón en masa o Ø de acero</li><li>▪ Losas, pórticos y marcos de hormigón armado</li></ul>
15 a 50 m	Tramos simples de vigas de hormigón pretensado
50 a 100 m	Tramos simples de acero <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Secciones en <math>\pi</math> o en cajón para vigas bajo calzada</li><li>▪ Vigas trianguladas sobre calzada</li></ul>
$L > 100$ m	Arcos o pórticos en $\pi$ Atirantados de un solo vano, con tablero de HP, mixto o de acero

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### Puentes de varios vanos

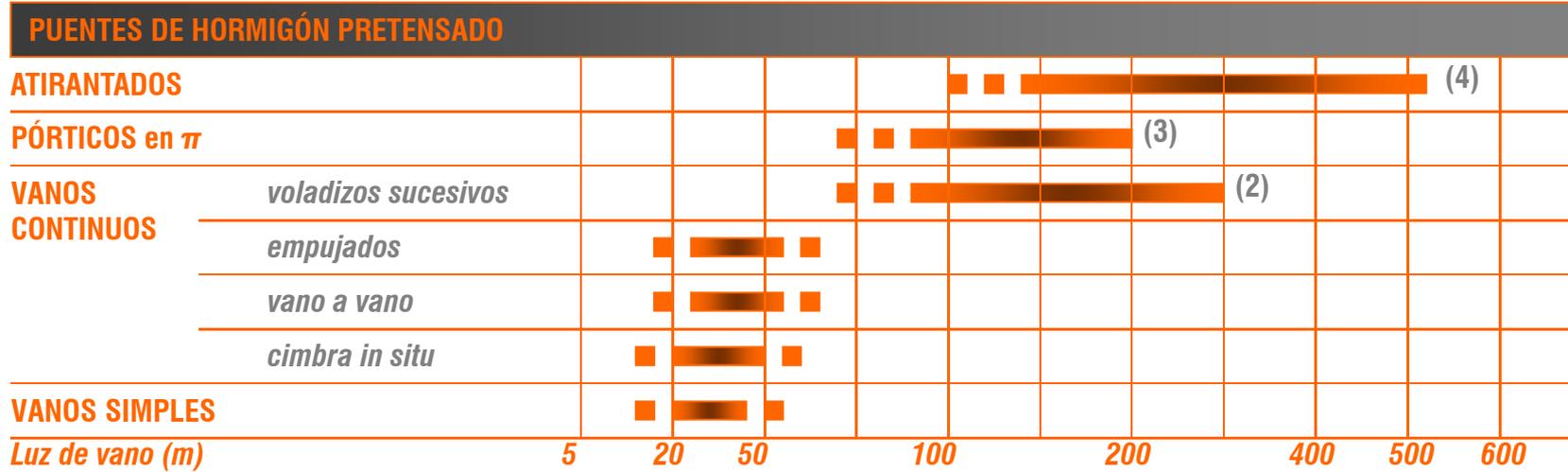
$L < 20$ m	Tramos continuos de <i>HA</i> o <i>HP</i> (losa maciza de canto constante)
20 a 50 m	Tramos continuos de hormigón pretensado, clasificados según: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Su sección transversal (desde losa aligerada a sección en cajón)</i></li> <li>▪ <i>El proceso constructivo (desde cimbra a voladizos sucesivos)</i></li> </ul>
50 a 150 m	Tramos continuos de <i>HP</i> , construidos por avance en voladizo Tramos continuos de acero (para $L > 75$ m)
150 a 500 m	Tramos continuos de <i>HP</i> , construidos por voladizos compensados Tramos continuos de acero Puentes atirantados, con tablero de <i>HP</i> , mixto o metálico
$L > 500$ m	Puentes atirantados con tablero mixto o de acero Puentes colgantes (para $L > 1000$ m)

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- 1) Aunque la luz de vano es el parámetro principal del estudio, en general no constituye un dato de partida puesto que la **posición de las pilas** no suele estar prefijada. En realidad, su definición es uno de los objetivos finales
- 2) El **catálogo** de morfologías longitudinales es **coyuntural**, aunque de moderadamente lenta evolución
- 3) Al existir un elevado número de variables en este tipo de problemas, y **no todas medibles**, la solución no puede determinarse a través de un proceso puramente analítico de optimización y debe concederse un amplio lugar a la **experiencia**. En definitiva:
  - Algunas variables de estado, como las estéticas, son marcadamente **subjetivas**
  - La **experiencia** permite siempre una aproximación más simple y directa al problema
  - La adquisición de **experiencia** en la Universidad puede orientarse hacia la recopilación de **información sobre obras existentes**. Esta labor se presta además al tratamiento estadístico de determinados parámetros morfológicos (esbeltez de las pilas y tableros, espesor y separación de almas...) con el fin de orientar mejor el predimensionamiento de los mismos



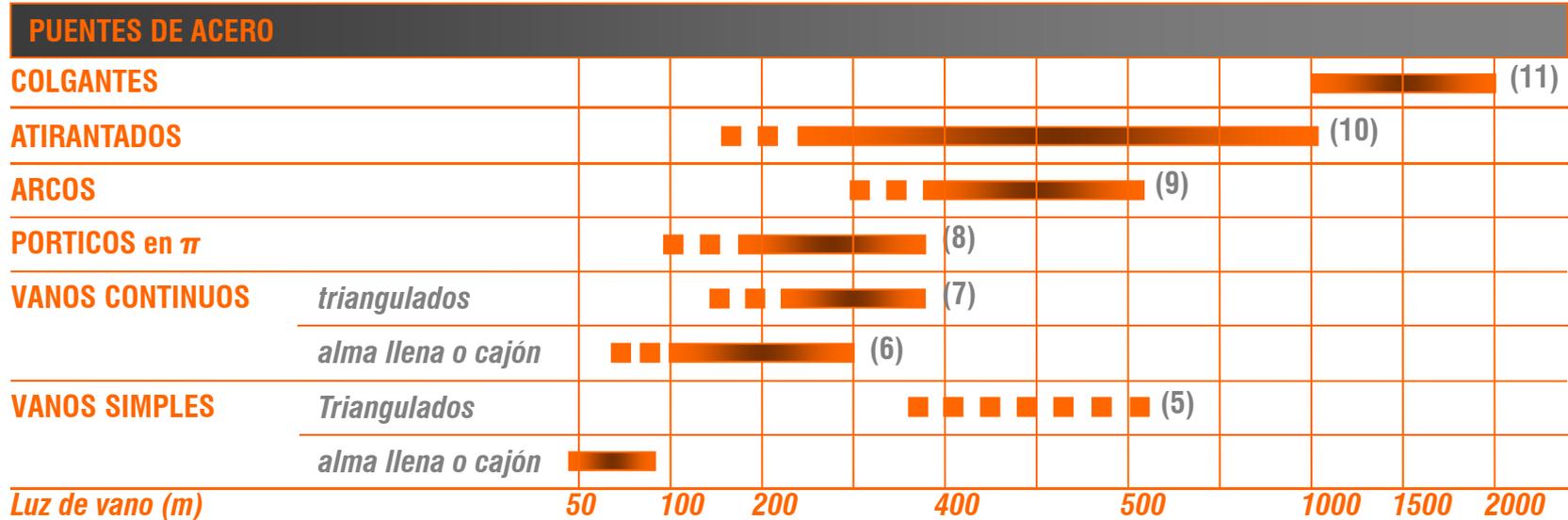
# 01 Panorámica general de puentes



- (4) *Puente de Skarsundet* (Noruega, 530 m, 1991)
- (3) *Pont sur la Truyère* (Francia, 195.5 m, 1993)
- (2) *Puente de Stolmasundet* (Noruega, 301 m, 1998)



# 01 Panorámica general de puentes



- (11) *Puente de Akashi Kaikyo* (Japón, 1990 m, 1999)
- (10) *Puente de Sutong* (China, 1088 m, 2008)
- (9) *Puente de Lupu* (China, 550 m, 2003)
- (8) *Viaducto de Sfalassa* (Italia, 376 m, 1973)
- (7) *Astoria bridge* (Oregón-USA, 376 m, 1966)
- (6) *Puente sobre el Niteroi* (Brasil, 300 m, 1974)
- (5) *Pont de Québec* (Canada, 549 m, 1917)



## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **2.3.0 Motivación**

#### **2.3.1 Documentos relativos al proyecto, construcción y mantenimiento de puentes**

#### **2.3.2 Presentación general de la IAP-11**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ La tercera sección del segundo tema del programa general de *Concepción de Puentes* se destina a revisar las publicaciones **oficiales o relevantes** relativas al proyecto y construcción de puentes, comentando con mayor detalle la normativa de acciones en puentes de carretera (**IAP-11**). El objetivo que se pretende es triple:

- 1) Recopilar toda la documentación para proporcionar al alumno un índice actualizado de **normas básicas, recomendaciones**... de aplicación a las obras que nos interesan
- 2) Incrementar nuestra sensibilidad al problema de la definición de las acciones, despertando inquietud respecto a las limitaciones inherentes a todo reglamento
- 3) Destacar la importancia que hoy en día tiene la conservación del patrimonio y por lo tanto el amplio campo profesional que nos ofrece el **mantenimiento, conservación y reparación de puentes**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### 1. Geometría

- 3.1-IC Trazado
- 4.1-IC Pequeñas obras de fábrica
- Gálibos Administraciones (Renfe, FGV, UIC...)

### 2. Acciones

- IAP-11 *para Puentes de Carretera*
- IAPF-07 *para Puentes de Ferrocarril (Ed. 2010)*
- NCSP-07 *Norma de Construcción Sismorresistente: puentes*

### 3. Cálculo y Construcción

- EAE (2011) *para Puentes Metálicos*
- EHE-08 *para Puentes de Hormigón*

Además, citaremos la serie “**Recomendaciones**” del Ministerio de Fomento en materia de *puentes mixtos*<sup>17</sup>, *puentes metálicos*<sup>18</sup> y *puentes de hormigón*<sup>20</sup> para carreteras (1996), y la “**Guía para la concepción de puentes integrales en carreteras**” (2000)

<2.3.1 Documentos relativos al proyecto, construcción y mantenimiento>

<2.3 MARCO NORMATIVO>



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### 4. Factores hidráulicos

- EROSIÓN FLUVIAL: “*Control de la erosión fluvial en puentes*”, MOPT-29 (1988)
- DRENAJE SUPERFICIAL: “*5.2-IC Drenaje superficial*”, MOPU-37 (1990), en particular los artículos 4.3 *Sumideros e imbornales* y 5.3.1 *Drenaje transversal en puentes*
- ESTANQUEIDAD de TABLEROS: “*Impermeabilización de tableros de puentes*”, Monografía M1, CEDEX (MOPU, 1982)

### 5. Aparatos de apoyo

- “*Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera*”, (MOPU, 1982)
- “*Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera*”, (MOPTMA, 1995)

### 6. Pruebas de carga

- “*Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción en puentes de carretera*” (Ministerio de Fomento, 1999)

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### 7. Seguridad vial

- “8.2-IC *Marcas viales*”, MOPU-10 (1987)
- BARRERAS: “O.C. 321/95 *Recomendaciones sobre sistemas de contención lateral de vehículos*”, “*Bases de cálculo y diseño de pretilas en puentes de carretera: nota de servicio 1/95 S.G.C.*” y “O.C. 28/2009 *Sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas*” (Ministerio de Fomento, 2009)
- ILUMINACIÓN: “*Recomendaciones de la CIE*”, contempladas en todos los manuales de iluminación de las firmas comerciales. “*Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles*”, Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento (2006)

NOTA: el *mantenimiento, conservación y reparación de puentes* se documenta ampliamente en la bibliografía asociada<sup>1,8,9,43,48</sup>

<2.3.1 Documentos relativos al proyecto, construcción y mantenimiento>

<2.3 MARCO NORMATIVO>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **1. OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN**

### **2. PRINCIPIOS GENERALES DE PROYECTO**

#### **2.1 REQUISITOS FUNDAMENTALES**

#### **2.2 VIDA ÚTIL**

#### **2.3 CRITERIOS DE COMPROBACIÓN**

##### **2.3.1 Situaciones de proyecto**

##### **2.3.2 Estados límite**

*2.3.2.1 Estados límite últimos (ELU)*

*2.3.2.2 Estados límite de servicio (ELS)*

##### **2.3.3 Verificaciones**

*2.3.3.1 Verificaciones en ELU*

*2.3.3.2 Verificaciones en ELS*

#### **2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES**

**<2.3.2 ÍNDICE de la IAP-11>**

**<2.3 MARCO NORMATIVO>**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **3. ACCIONES PERMANENTES**

#### **3.1 ACCIONES PERMANENTES DE VALOR CONSTANTE ( $G$ )**

##### **3.1.1 Peso propio**

##### **3.1.2 Cargas muertas**

#### **3.2 ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE ( $G^*$ )**

##### **3.2.1 Presolicitaciones**

###### *3.2.1.1 Pretensado*

###### *3.2.1.2 Otras presolicitaciones*

##### **3.2.2 Acciones reológicas**

##### **3.2.3 Empuje del terreno**

##### **3.2.4 Asientos del terreno de cimentación**

##### **3.2.5 Rozamiento de apoyos deslizantes**

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **4. ACCIONES VARIABLES ( $Q$ )**

#### **4.1 SOBRECARGA DE USO**

##### **4.1.1 División de la plataforma del tablero en carriles virtuales**

##### **4.1.2 Cargas verticales**

*4.1.2.1 Cargas verticales debidas al tráfico de vehículos*

*4.1.2.2 Cargas verticales en zonas de uso peatonal*

##### **4.1.3 Fuerzas horizontales**

*4.1.3.1 Frenado y arranque*

*4.1.3.2 Fuerza centrífuga y otras fuerzas transversales*

##### **4.1.4 Grupos de cargas de tráfico**

##### **4.1.5 Tren de cargas para la comprobación del estado límite último de fatiga**

##### **4.1.6 Sobrecarga de uso en terraplenes adyacentes a la estructura**

##### **4.1.7 Empujes sobre barandillas**

##### **4.1.8 Sobrecarga de uso en pasarelas**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### 4. ACCIONES VARIABLES (*Q*, continuación)

#### 4.2 VIENTO

4.2.1 Velocidad básica del viento

4.2.2 Velocidad media del viento

4.2.3 Empuje del viento

4.2.4 Dirección del viento

4.2.5 Empuje del viento sobre tableros

*4.2.5.1 Efectos provocados por el viento transversal*

4.2.5.1.1 Empuje horizontal

4.2.5.1.2 Empuje vertical

4.2.5.1.3 Momento de vuelco sobre el tablero

*4.2.5.2 Empuje provocado por el viento longitudinal*

4.2.6 Empuje del viento sobre pilas

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **4. ACCIONES VARIABLES (Q)**

#### **4.2 VIENTO** *(continuación)*

**4.2.7 Empuje del viento sobre otros elementos del puente**

**4.2.8 Cálculo simplificado del empuje sobre tableros y pilas**

**4.2.9 Efectos aeroelásticos**

*4.2.9.1 Necesidad de comprobación*

*4.2.9.2 Criterios de comprobación*

*4.2.9.3 Comprobaciones simplificadas*

*4.2.9.3.1 Divergencia torsional*

*4.2.9.3.2 Desprendimiento de torbellinos*

*4.2.9.3.3 Oscilaciones divergentes con galope y flameo*

*4.2.9.3.4 Oscilaciones producidas por las ráfagas (bataneo)*

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### 4. ACCIONES VARIABLES ( $Q$ , continuación)

#### 4.3 ACCIÓN TÉRMICA

##### 4.3.1 Acción térmica en tableros

###### 4.3.1.1 *Componente uniforme de la temperatura del tablero*

4.3.1.1.1 Temperatura máxima y mínima del aire

4.3.1.1.2 Componente uniforme de la temperatura

4.3.1.1.3 Rango de la componente uniforme de temperatura

###### 4.3.1.2 *Componente de la diferencia de temperatura*

4.3.1.2.1 Diferencia vertical

4.3.1.2.2 Diferencia horizontal

4.3.1.2.3 Diferencia local en paredes de secciones cajón de hormigón

###### 4.3.1.3 *Simultaneidad de la componente uniforme y de la diferencia de temperatura*

##### 4.3.2 Acción térmica en pilas

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **4. ACCIONES VARIABLES (Q)**

#### **4.3 ACCIÓN TÉRMICA** *(continuación)*

##### **4.3.3 Diferencias de temperatura uniforme entre elementos estructurales**

*4.3.3.1 Diferencias en puentes con tirantes o péndolas*

*4.3.3.2 Diferencias en puentes con arcos o pilonos*

#### **4.4 NIEVE**

##### **4.4.1 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal**

##### **4.4.2 Sobrecarga de nieve en tableros**

##### **4.4.3 Acumulaciones locales de nieve**

#### **4.5 OTRAS ACCIONES VARIABLES**

##### **4.5.1 Acción del agua**

*4.5.1.1 Empuje hidrostático*

*4.5.1.2 Empuje hidrodinámico*

##### **4.5.2 Otras sobrecargas en situaciones transitorias**

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **5. ACCIONES ACCIDENTALES**

#### **5.1 IMPACTOS**

5.1.1 Impacto de vehículos de carretera contra un elemento estructural del puente o pasarela

5.1.2 Impacto contra sistemas de contención de vehículos

5.1.3 Impacto de vehículos ferroviarios

5.1.4 Impacto de embarcaciones

#### **5.2 ACCIÓN SÍSMICA ( $A_E$ )**

#### **5.3 OTRAS ACCIONES ACCIDENTALES**

5.3.1 Caída de un carro de avance en fase de construcción

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **6. BASES PARA LA COMBINACIÓN DE ACCIONES**

#### **6.1 VALORES REPRESENTATIVOS DE LAS ACCIONES**

**6.1.1 Valor representativo de las acciones permanentes**

**6.1.2 Valor representativo de las acciones variables**

**6.1.3 Valor representativo de las acciones accidentales**

#### **6.2 VALOR DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES**

**6.2.1 Valor de cálculo para comprobaciones en ELU**

*6.2.1.1 En situación persistente o transitoria*

6.2.1.1.1 Comprobaciones de equilibrio (EQU)

6.2.1.1.2 Comprobaciones resistentes (STR)

6.2.1.1.3 Comprobaciones de fatiga (FAT)

*6.2.1.2 En situación accidental*

*6.2.1.3 En situación sísmica*

**6.2.2 Valor de cálculo para comprobaciones en ELS**

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **6. BASES PARA LA COMBINACIÓN DE ACCIONES** *(continuación)*

#### **6.3** COMBINACIÓN DE ACCIONES

##### **6.3.1** Combinaciones para comprobaciones en ELU

*6.3.1.1 En situación persistente o transitoria*

*6.3.1.2 En situación accidental*

*6.3.1.3 En situación sísmica*

##### **6.3.2** Combinaciones para comprobaciones en ELS

### **7. CRITERIOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO**

#### **7.1** CRITERIOS FUNCIONALES RELATIVOS A FLECHAS

**7.1.1** Estado límite de deformaciones

**7.1.2** Contraflechas de ejecución

#### **7.2** CRITERIOS FUNCIONALES RELATIVOS A VIBRACIONES

**7.2.1** Estado límite de vibraciones en puentes con zonas peatonales

**7.2.2** Estado límite de vibraciones en pasarelas peatonales

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **8. PRUEBAS DE CARGA**

Anejo 1 NOTACIÓN

Anejo 2 GLOSARIO

Anejo 3 REGLAMENTACIÓN DE REFERENCIA

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**

### **2.4.0 Motivación**

### **2.4.1 Revestimiento de la calzada**

### **2.4.2 Aceras y bordillos**

### **2.4.3 Evacuación de aguas y ubicación de conducciones**

### **2.4.4 Impostas**

### **2.4.5 Barandillas y barreras de seguridad**

### **2.4.6 Iluminación**

---

**Un caso práctico:** *viaducto de la línea T2 del tranvía de Valencia*

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ Aunque, por el tiempo asignado en el programa, los *Equipamientos de los Puentes* no ocupen un lugar destacado en el mismo, paradójicamente el principal objetivo del tema consiste en sensibilizarnos a la enorme importancia que tiene su concepción. El motivo reside en que **un inadecuado diseño de:**

- los elementos de seguridad
- la impermeabilización y el drenaje del tablero
- la iluminación de la calzada

pueden comprometer el correcto funcionamiento de la obra e incluso causar su **puesta fuera** de servicio provisional (ELS), y ello independientemente del sofisticado cálculo que se haya realizado para comprobar la seguridad estructural

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ *En definitiva*, los equipamientos:

- deben garantizar la **comodidad y seguridad** de los usuarios, y
- han de ser **duraderos** para proporcionar un **coste de mantenimiento moderado** de la obra

Por ello, su diseño **no** debe posponerse al final del proyecto: los equipamientos deben de estar previstos y proyectados desde el comienzo, para **evitar problemas** de espacio o acudir, por falta de tiempo, a **soluciones estándar mal adaptadas** a nuestro caso particular

□ Se recomienda **abordar** su diseño al finalizar el **estudio de soluciones** y **completarlo** al inicio del **proyecto básico**

**NOTA:** quedan voluntariamente excluidos del tema los **aparatos de apoyo** y **las juntas de dilatación**, cuya función eminentemente estructural les confiere una importancia especial. Por ello, se tratan de forma específica en el siguiente módulo didáctico (*diseño de subestructuras*)

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- PAVIMENTO
- CAPAS de ESTANQUEIDAD
- BOMBEO

*Aglomerado asfáltico (50 a 70 mm)*

*Capa gruesa o capa delgada*

*Estructural o mediante recrecido*

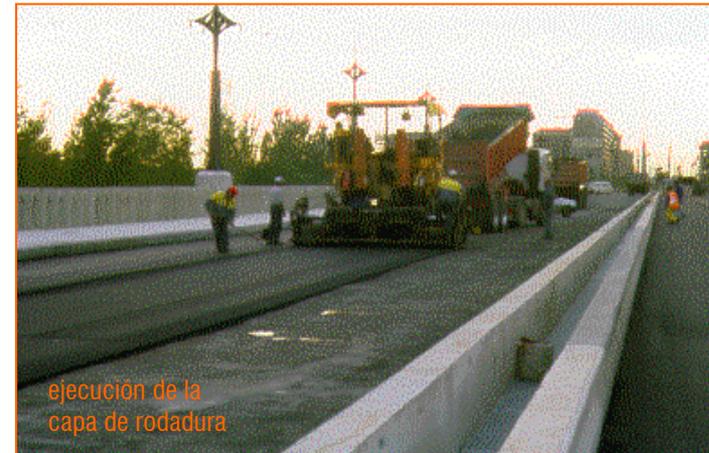


<2.4.1 Revestimiento de la calzada>

<2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

**NOTA:** de acuerdo con la IAP-11, Art. 3.1.2 Cargas muertas, el espesor total de pavimento ha de ser *inferior a 100 mm*



<2.4.1 Revestimiento de la calzada>

<2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

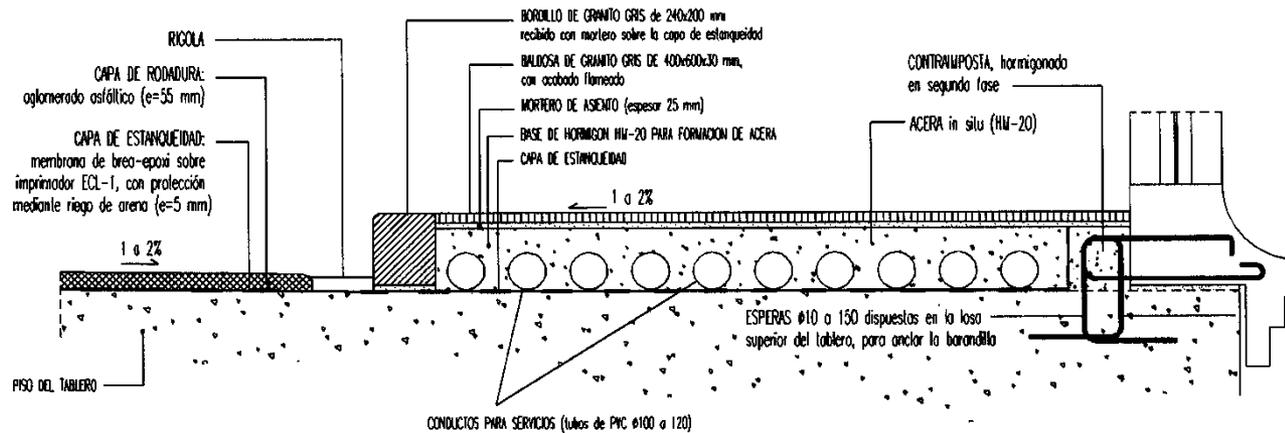
▪ **SEGURIDAD:** el peatón debe circular con seguridad y sobre todo, con **sensación de seguridad** (selección de la altura del bordillo > 15 cm, textura superficial del pavimento...)

▪ **PASO de SERVICIOS:** puede disponerse conductos embebidos (*en aceras macizas*) o alojados dentro de la acera (*aceras huecas*). Incluso puede ser necesario disimularlos dentro del tablero (*si la acera está a la misma cota que la calzada*)

acera	ventajas	inconvenientes
<i>maciza</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ejecución sencilla y rápida</li> <li>▪ buena durabilidad (es estanca y resistente)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ exige disponer arquetas de registro</li> <li>▪ es la más pesada</li> </ul>
<i>hueca</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ buen control de los servicios</li> <li>▪ peso moderado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ejecución más compleja</li> <li>▪ peor durabilidad (estanqueidad, losas de HA frágiles...)</li> </ul>
<i>a nivel</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ejecución muy sencilla</li> <li>▪ buena durabilidad (es estanca y resistente)</li> <li>▪ acera ligera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ los servicios deben alojarse dentro del tablero</li> <li>▪ exige disponer barreras para los peatones</li> </ul>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### Acera maciza



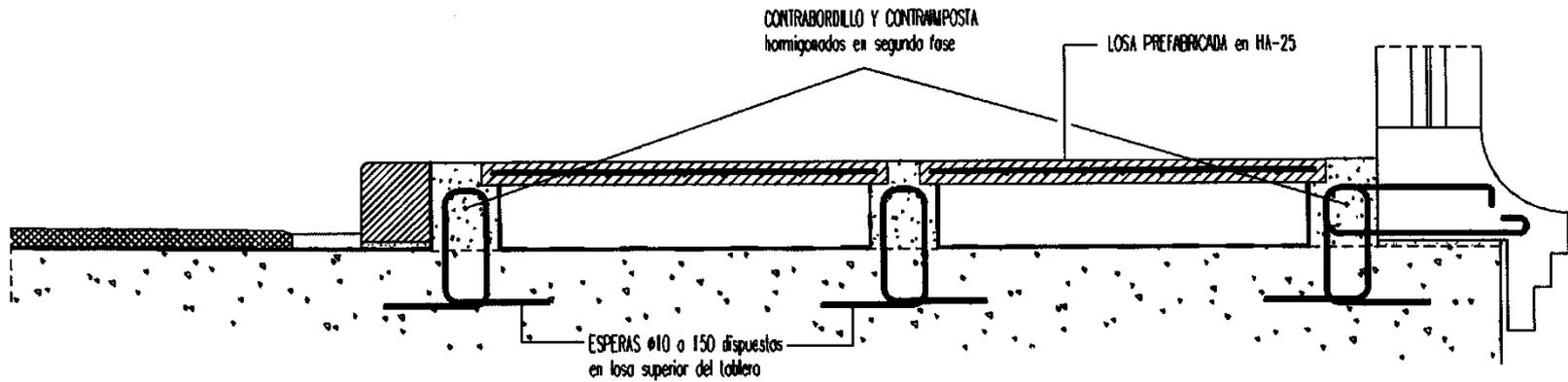
### <2.4.2 Aceras y bordillos>

### <2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>

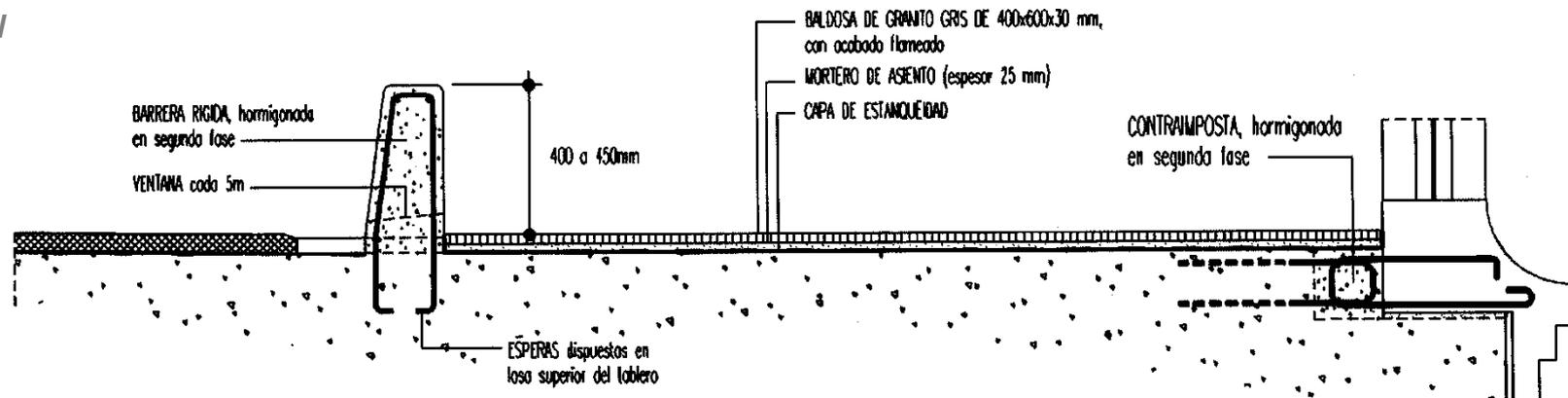


## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### Acera hueca



### Acera a nivel



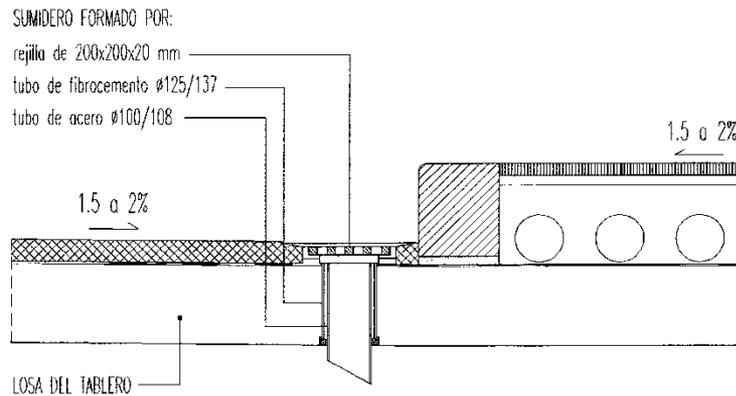
### <2.4.2 Aceras y bordillos>

### <2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- La evacuación de aguas debe realizarse mediante:

- 1) *Pendientes transversales en calzada y aceras*
- 2) *Puntos de recogida, o sumideros*
- 3) *Puntos de vertido*

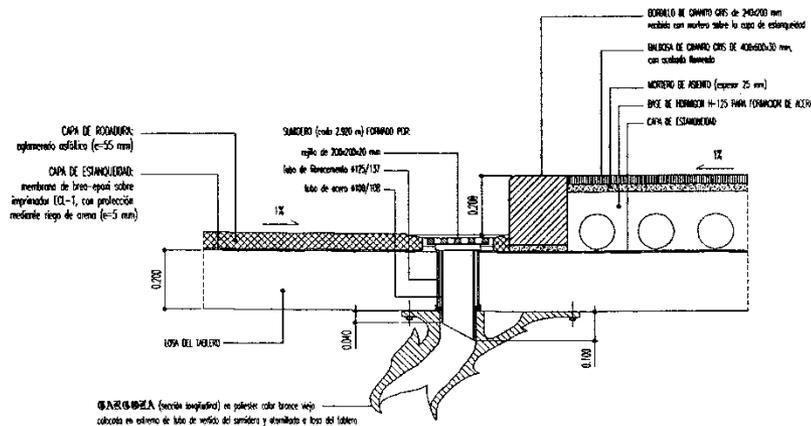


- Los puntos de recogida pueden ser de **vertido directo** si ello no ocasiona ningún problema bajo el tablero (↯ paso de peatones o vehículos). En caso contrario, el vertido debe realizarse mediante **bajantes** conectadas a una tubería de recogida alojada en el tablero y adecuadamente disimuladas (pilas, estribos...). Su dimensionamiento se realiza con la instrucción de drenaje superficial **5.2-IC**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- Las conducciones de **grandes dimensiones** no pueden disponerse dentro de las aceras. Requieren dispositivos especiales de anclaje (dilataciones...) y conviene disimularlas dentro del tablero, siempre que su acceso sea cómodo. De lo contrario, puede recurrirse a disponerlas sobre bandejas de TRAMEX...
- Su previsión corresponde siempre a la primera fase del proyecto **datos iniciales**, y deben tenerse en cuenta al evaluar las acciones permanentes (**G**), con valores  $G_{inf}$  y  $G_{sup}$

### Ejemplo de imbornal. Proyecto y ejecución

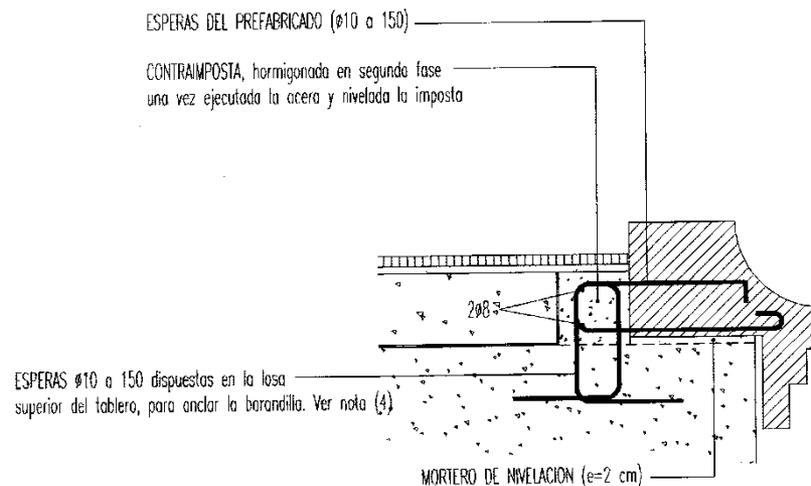


### <2.4.3 Evacuación de aguas y ubicación de conducciones>

### <2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- Su función consiste en **alejar las pluviales** de los paramentos verticales del tablero, y sobre todo **rectificar y marcar la arista superior** del mismo
- Suelen ser prefabricadas, en HA-25, para permitir corregir las imperfecciones geométricas de los bordes superiores del tablero, aunque también pueden ejecutarse in situ (debiendo entonces prever un **goterón**). En algunos puentes metálicos, estas se han fabricado en acero
- Por sus dimensiones y su desarrollo longitudinal, influyen enormemente sobre el **aspecto final** del tablero



### <2.4.4 Impostas>

### <2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- **BARANDILLAS:** su definición geométrica debe responder a criterios de **seguridad**. En este sentido, se dispone de las reglas siguientes:

- a)  $h_{min} = \text{Inf}\{1.20 \text{ m}, 0.95 + 0.005H \pm 0.05 \text{ m}\}$
- b) para  $z \leq 0.6 \text{ m}$ ,  $\varnothing_{huecos} < 0.15 \text{ m}$

- **BARRERAS de SEGURIDAD:** pueden ser rígidas o flexibles. Se dispone de la **O.C. 321/95** “*Recomendaciones sobre sistemas de contención lateral de vehículos*”

- **RECOMENDACIÓN GENERAL:** por su **alto impacto visual**, conviene diseñar cuidadosamente estos elementos, huyendo de soluciones estándar generalmente difíciles de conjugar con las formas propias de la estructura. Para ello, y con el fin de que la seguridad quede garantizada, las acciones están definidas en la IAP-11, en particular Art. **5.1.2 Impacto contra sistemas de contención de vehículos**

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

módulos de balaustrada prefabricada



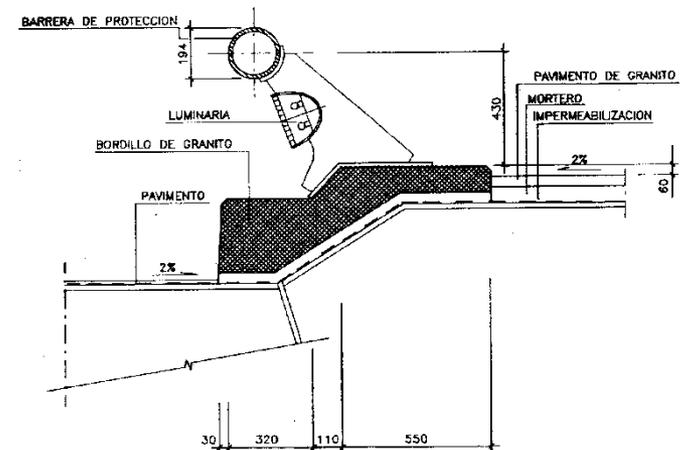
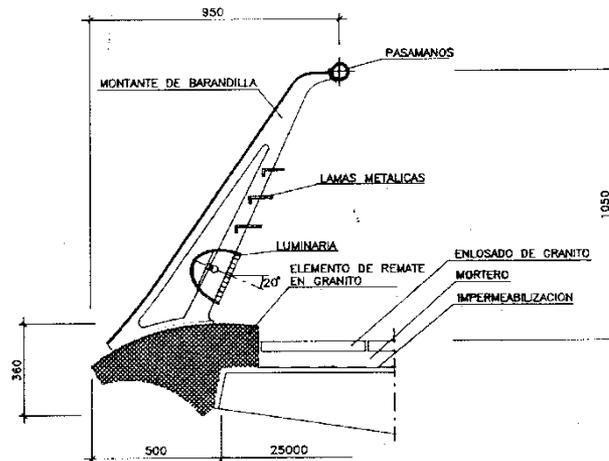
mediana rígida in situ



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- ❑ El alumbrado público se diseña de acuerdo con las recomendaciones de la *Comission Internationale de l'Éclairage*, recogidas y desarrolladas en los manuales comerciales (*Philips, Mazda, Socelec...*), las farolas pueden ser de serie o diseñarse ex profeso, según convenga
- ❑ Se debe prever **arquetas de conexión** en aceras para **cada punto de luz**, así como la acometida general, tanto para la iluminación vial como ornamental (en su caso)

### Ejemplo de sistema de iluminación rasante. Puente de la Alameda, S. Calatrava



#### <2.4.6 Iluminación>

#### <2.4 DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS>





## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

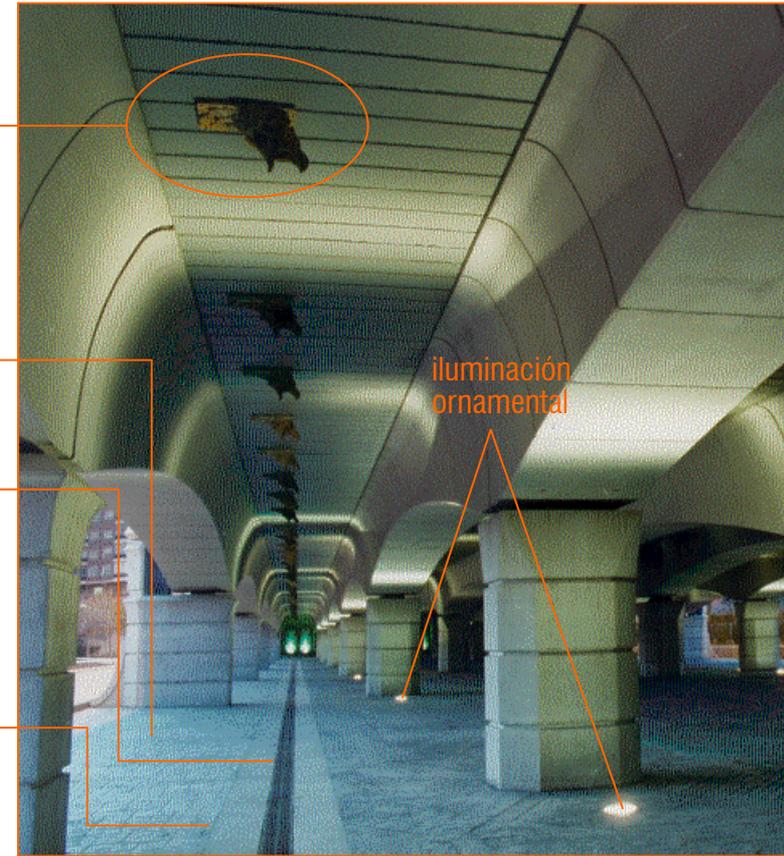
OBRA URBANA. "Pont del Regne", S. Monleón (Valencia, 1999)  
Drenaje y urbanización

punto de vertido del  
imbornal (gárgola)

pavimento de hormigón  
impreso

sumidero corrido

franja de baldosa de granito



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

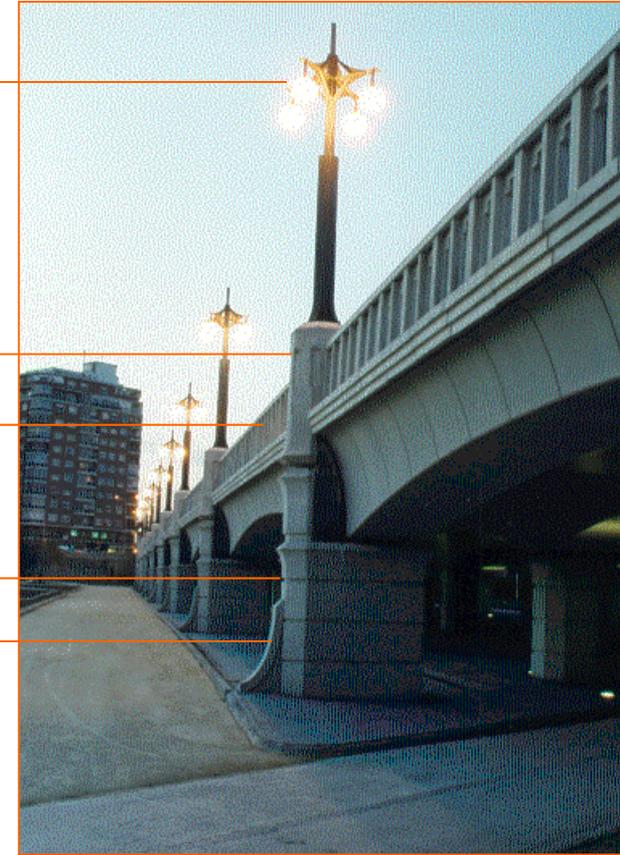
farola formada por poste de acero y 4 luminarias (globo Ø550 de cristal esmerilado con lámpara VSAP)

pedestal de farola prefabricado (hormigón HA-25)

balaustrada prefabricada en HA-25, con imposta incorporada

pilastra lateral hormigonada in situ (elemento de coronación en 2ª fase)

cartela ornamental prefabricada



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



Vista diurna de la obra desde la margen izquierda. Disposición general del vial:

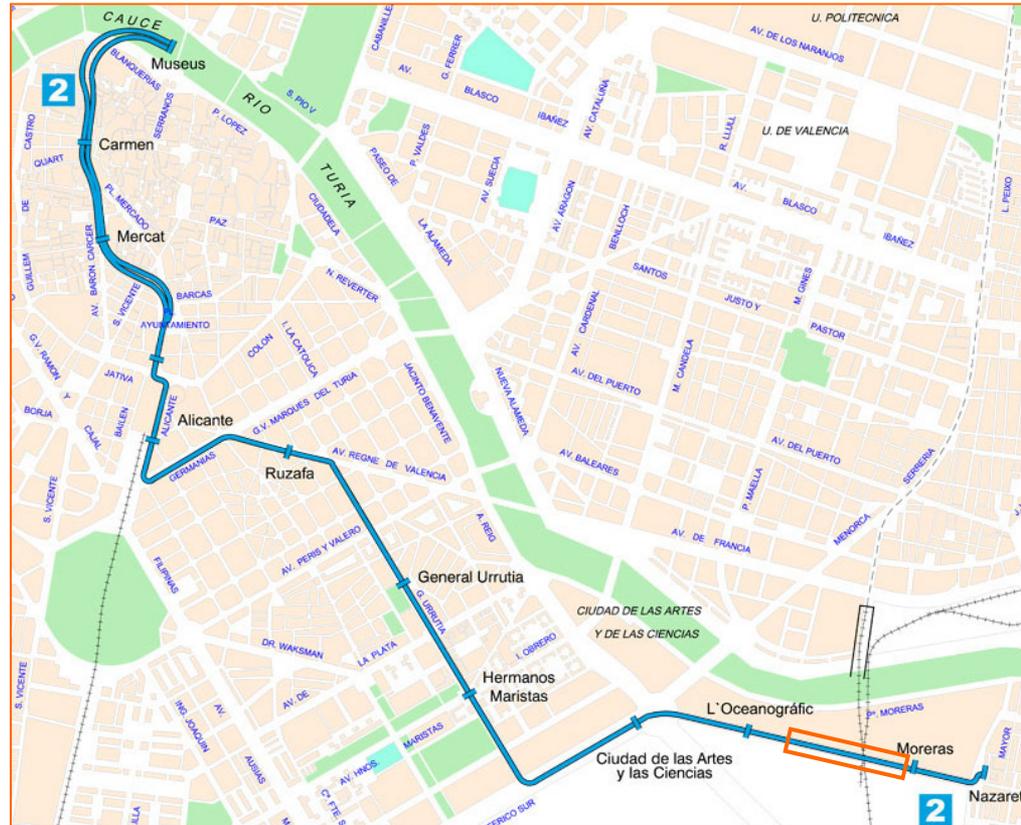
- 2 calzadas de 4 carriles
- mediana rígida traslúcida (TRAMEX)
- aceras a ambos lados, revestidas con baldosa de granito flameado
- balaustrada prefabricada
- pedestales de farolas prefabricados
- esculturas ornamentales de bronce en accesos



Vista nocturna de la obra desde la margen derecha. Alumbrado vial y ornamental:

- 2x8 farolas con cuatro luminarias esféricas
- focos *faciales* en cada *Guardián*

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



<Localización del viaducto>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

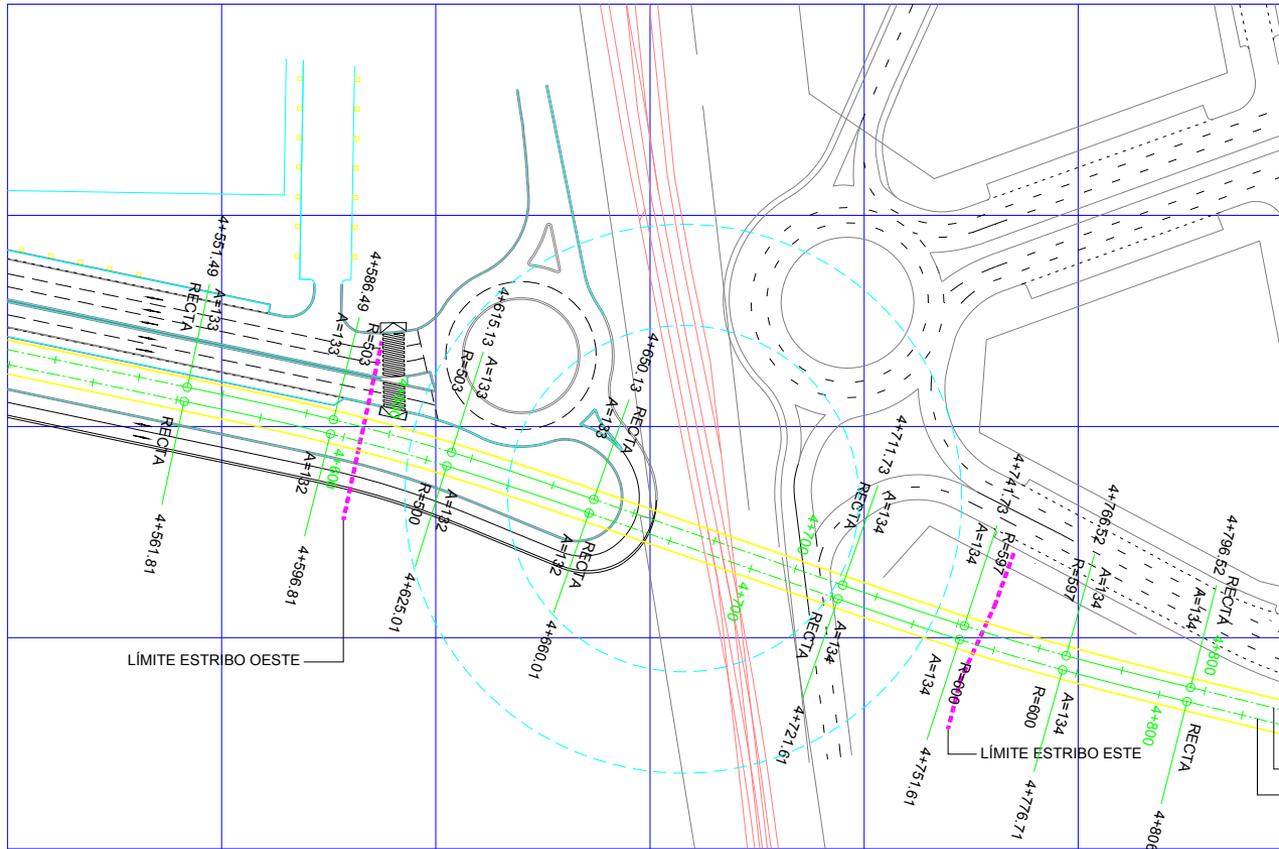
## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



VÍA IZQUIERDA  
VÍA DERECHA

LÍMITE ESTRIBO OESTE

LÍMITE ESTRIBO ESTE



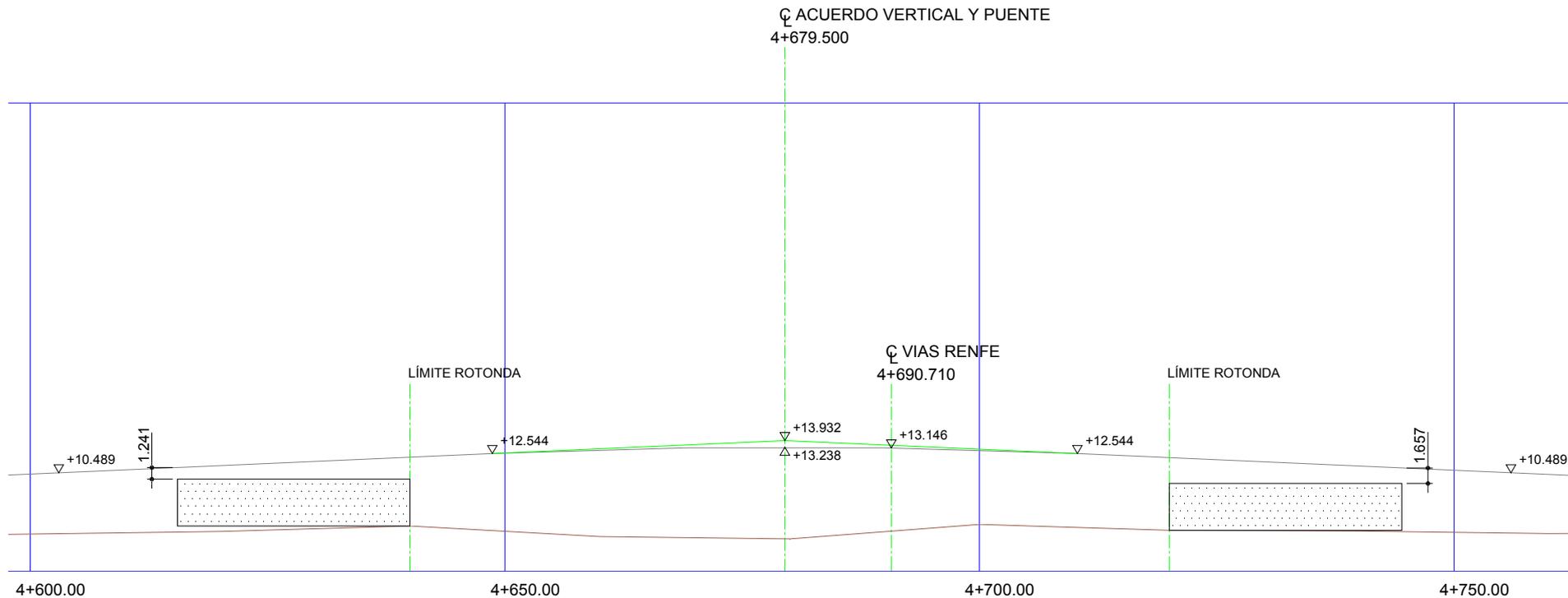
<Planta general>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



<Trazado en alzado y gálidos>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

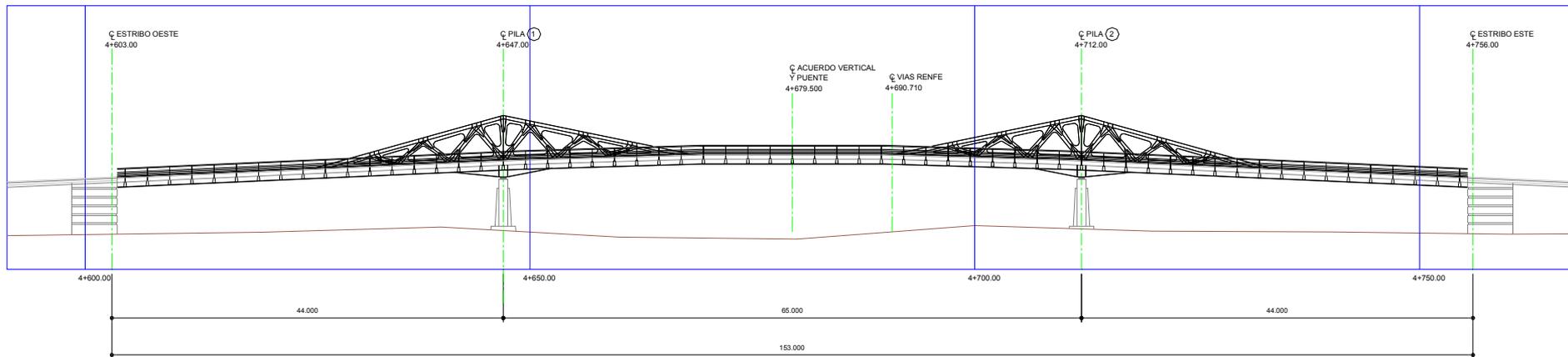


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### □ Condiciones geométricas

- vano central mínimo compatible con las restricciones viarias en planta
- sistema *por encima del tablero* para minimizar el canto



### □ Solución tipo 1: puente continuo con *aletas* sobre pilas

- esquema resistente convencional, con posibles variantes formales y materiales
- construcción sencilla con posibilidades de prefabricación parcial

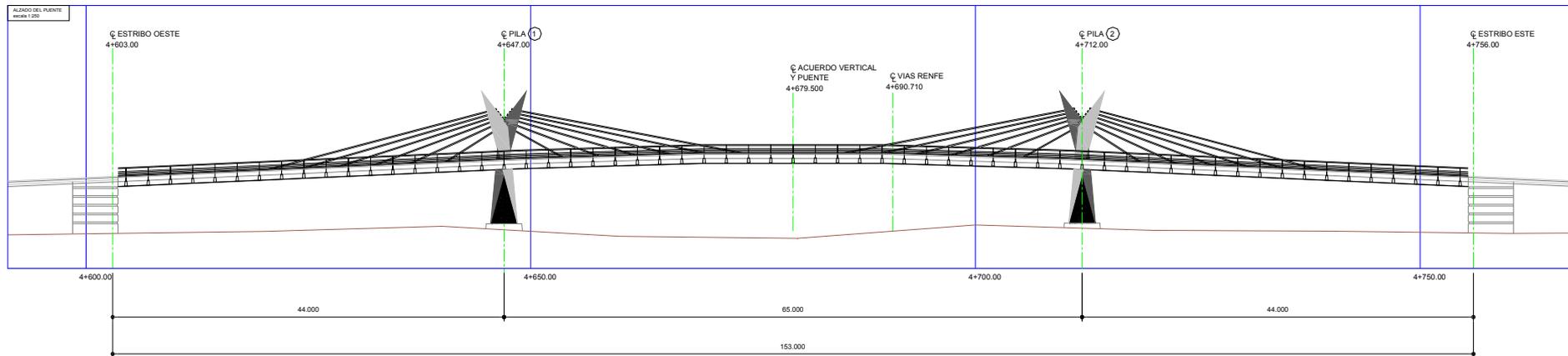
<Selección de la tipología: sistemas longitudinales alternativos>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### □ Condiciones geométricas

- vano central mínimo compatible con las restricciones viarias en planta
- sistema *por encima del tablero* para minimizar el canto



### □ Solución tipo 2: puente atirantado extradosado

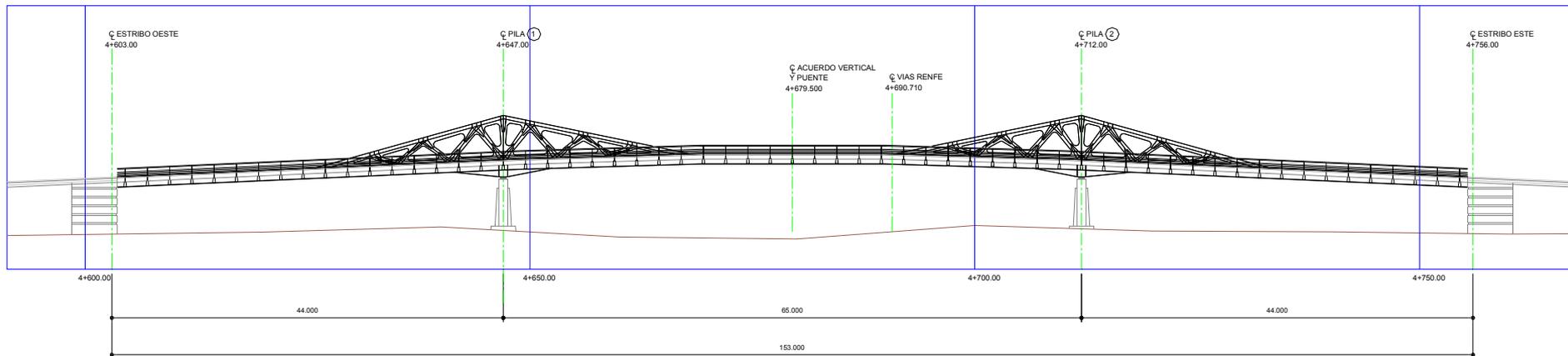
- torres y atirantamiento de dimensiones moderadas luego económicos
- estética singular pero asumible en el futuro entorno urbano
- construcción sencilla con posibilidades de prefabricación parcial

<Selección de la tipología: sistemas longitudinales alternativos>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ Solución 1.1: *punte metálico* con aletas nervadas “bio-Eiffel”



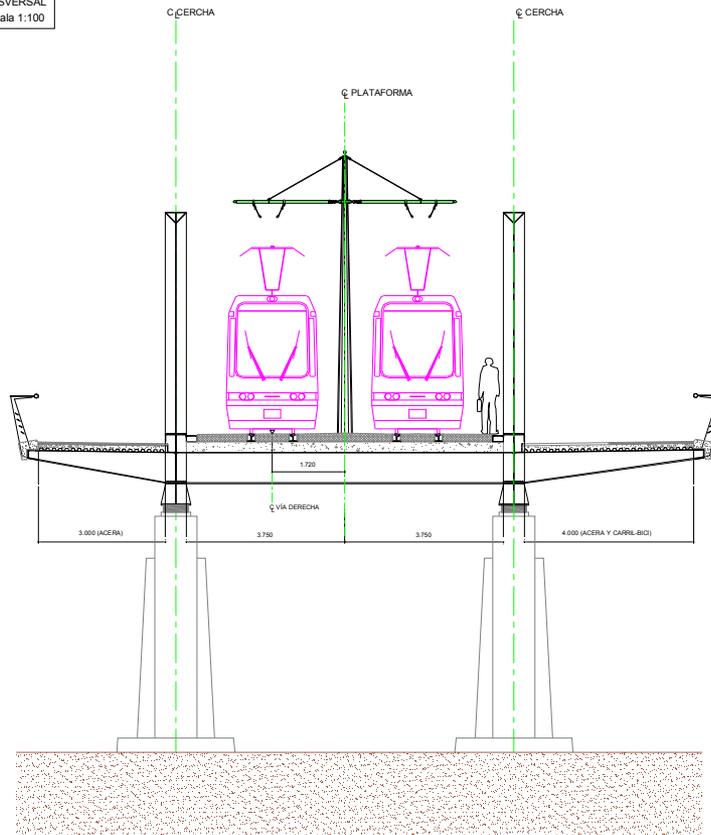
- estética *ferroviaria*
- construcción estándar (uniones soldadas, armado parcial...)
- subestructuras *Vintage*

<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

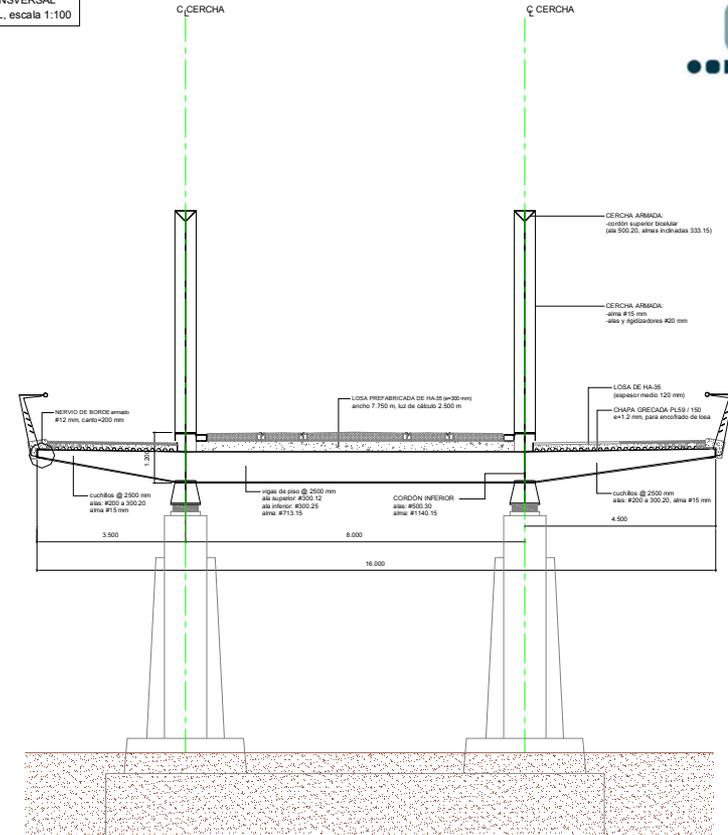
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

SECCIÓN TRANSVERSAL  
 FUNCIONAL, escala 1:100



SECCIÓN TRANSVERSAL  
 ESTRUCTURAL, escala 1:100



<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

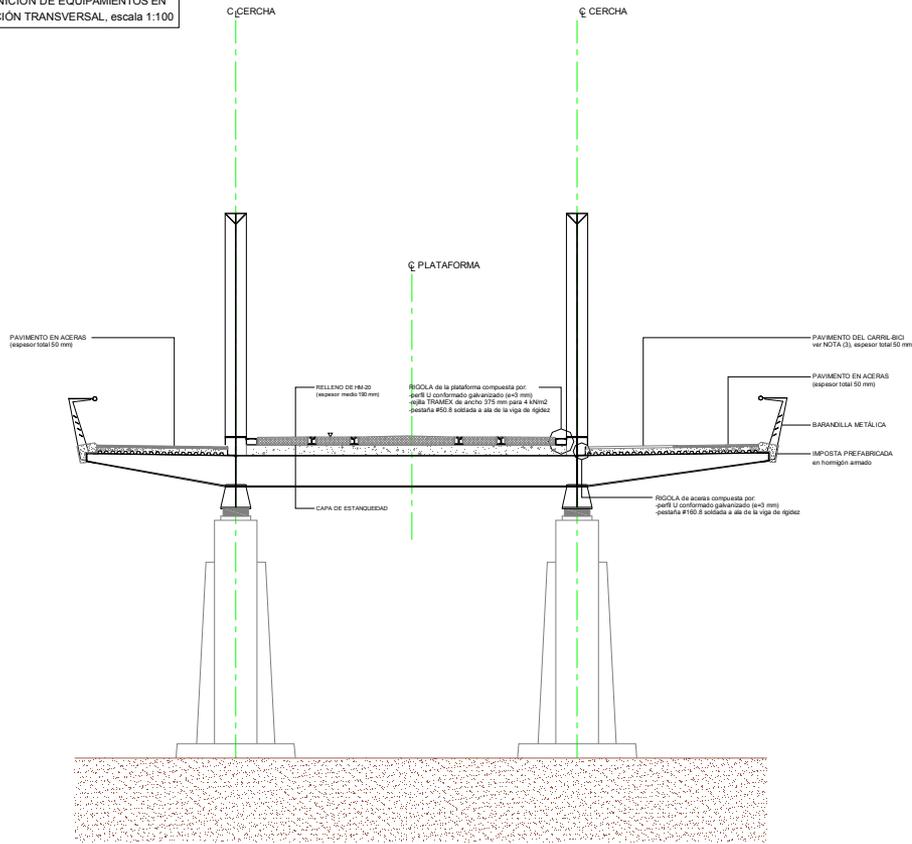
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



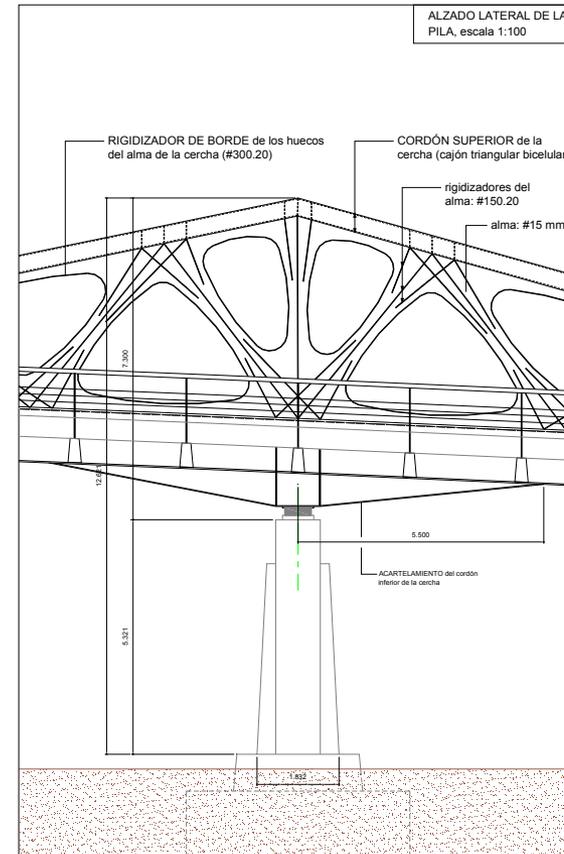
UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

DEFINICIÓN DE EQUIPAMIENTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL, escala 1:100



ALZADO LATERAL DE LA PILA, escala 1:100



<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

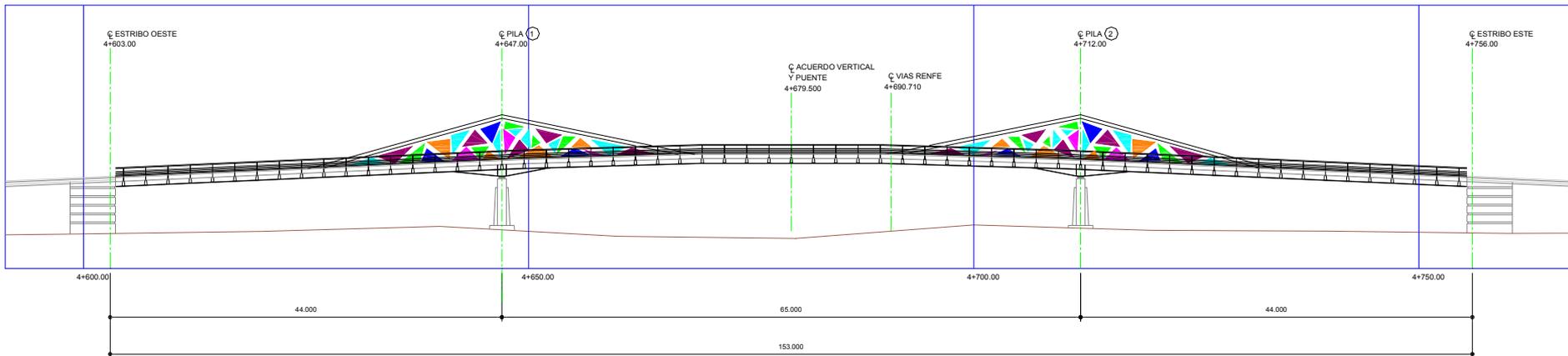
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ Solución 1.2: *punte metálico* con aletas nervadas deconstruidas “Kaleidoscope”



- estética *muy singular* (cromatismo, efecto vidriera...)
- construcción estándar (uniones soldadas, armado parcial...)
- subestructuras *Vintage*

<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

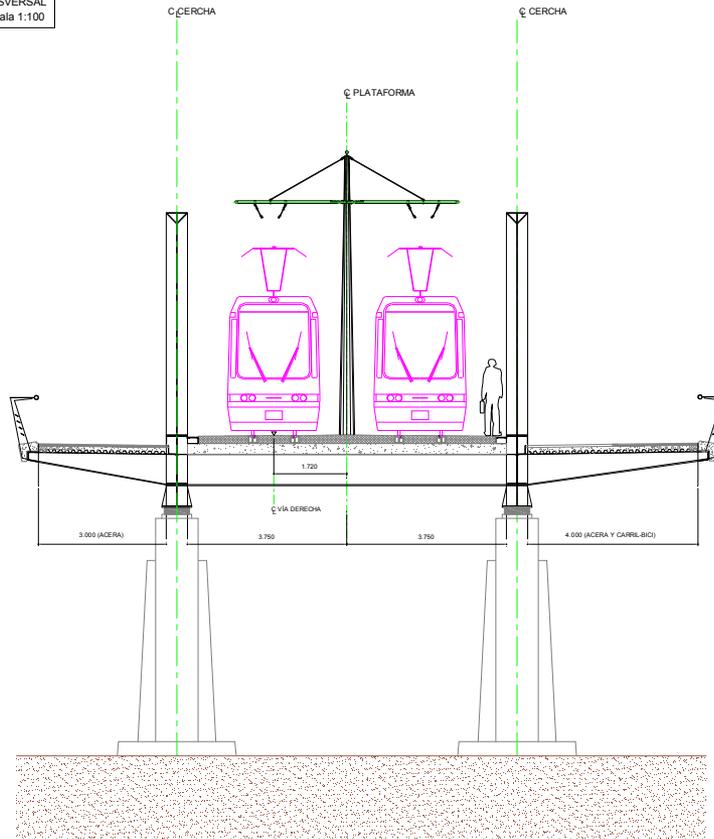
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



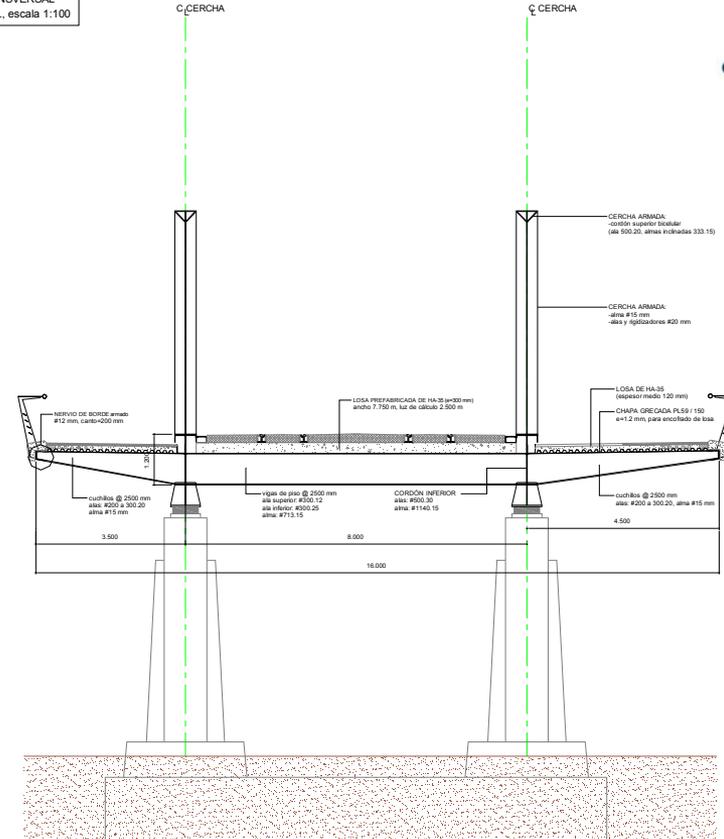
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

SECCIÓN TRANSVERSAL  
 FUNCIONAL, escala 1:100



SECCIÓN TRANSVERSAL  
 ESTRUCTURAL, escala 1:100



<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

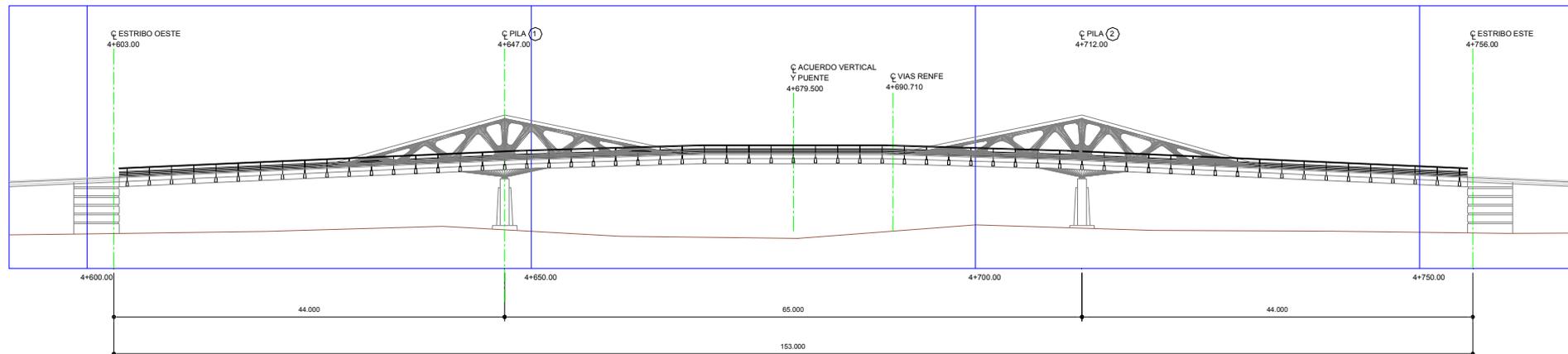


UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ Solución 1.3: *ponte de hormigón pretensado* con aletas “bio-Nervi”



- estética *orgánica*
- construcción más compleja (encofrados, prefabricación poco rentable para las aletas...)
- subestructuras *Vintage*

<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

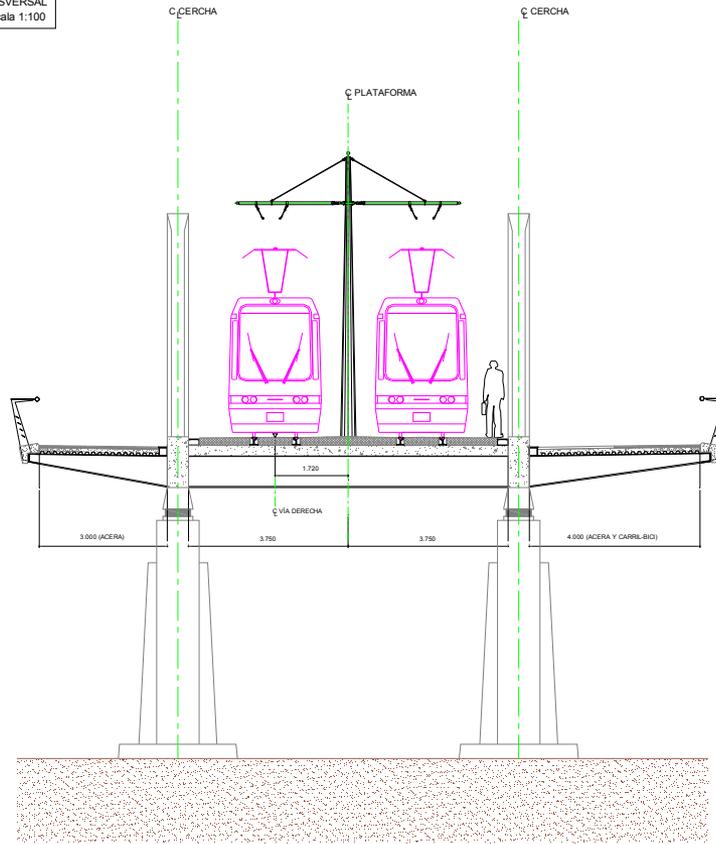
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



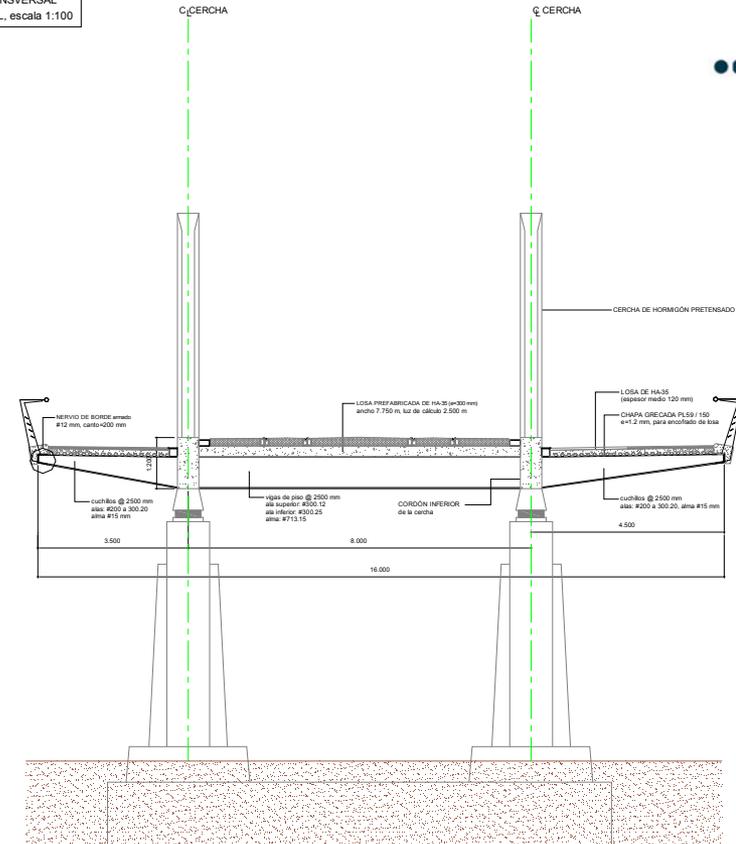
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

SECCIÓN TRANSVERSAL  
 FUNCIONAL, escala 1:100



SECCIÓN TRANSVERSAL  
 ESTRUCTURAL, escala 1:100

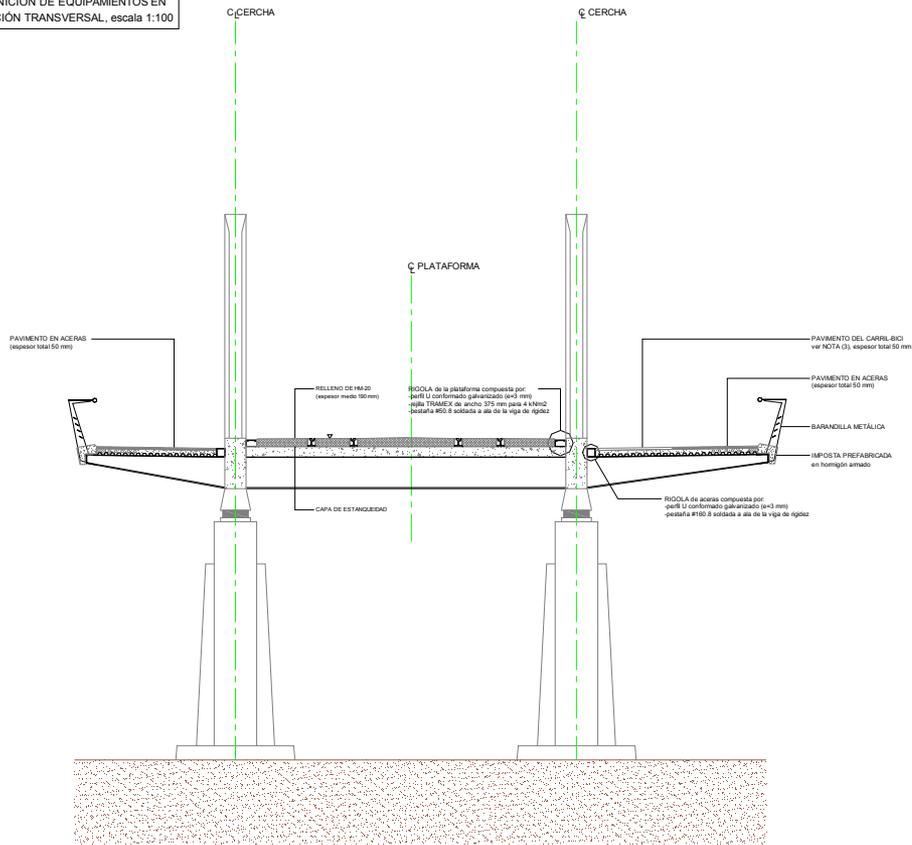


<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

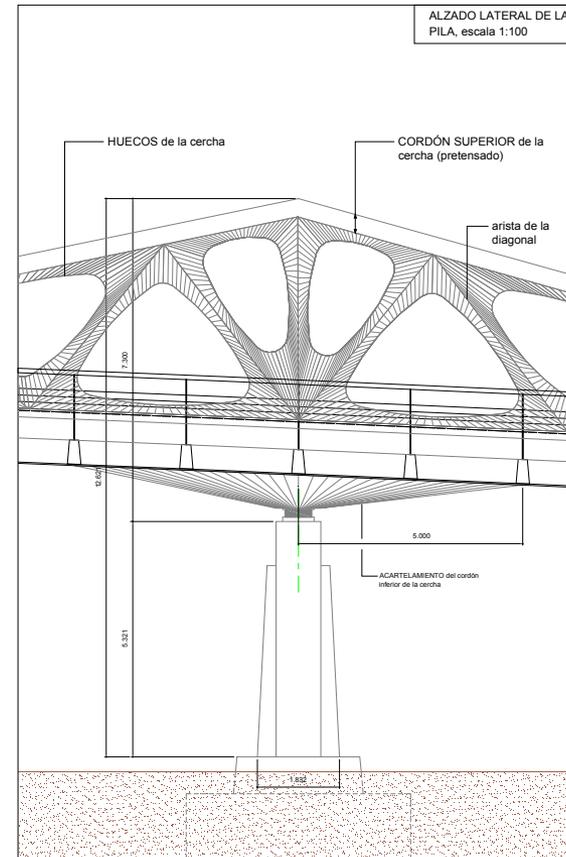
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

DEFINICIÓN DE EQUIPAMIENTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL, escala 1:100



ALZADO LATERAL DE LA PILA, escala 1:100



<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

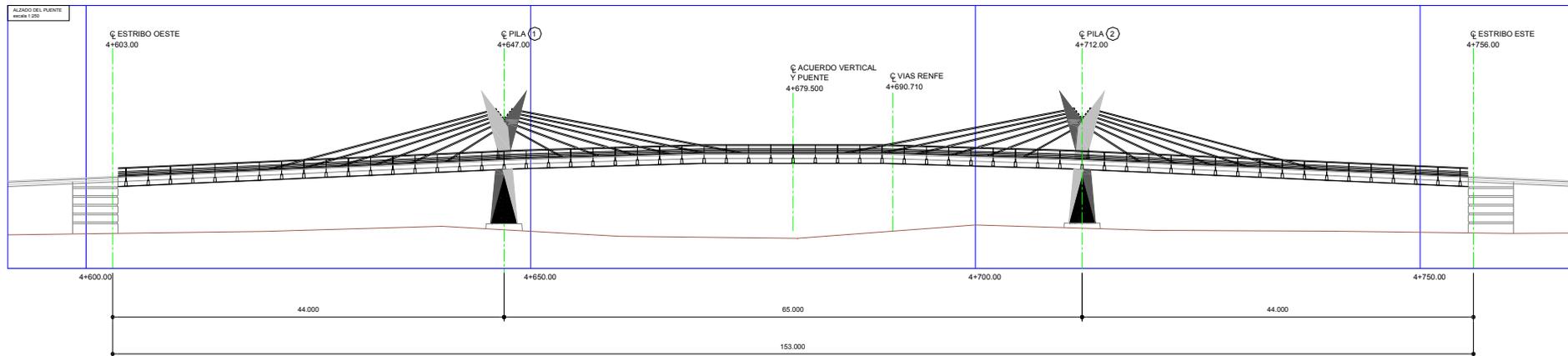
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### □ Solución 2: *puente atirantado extradosado*



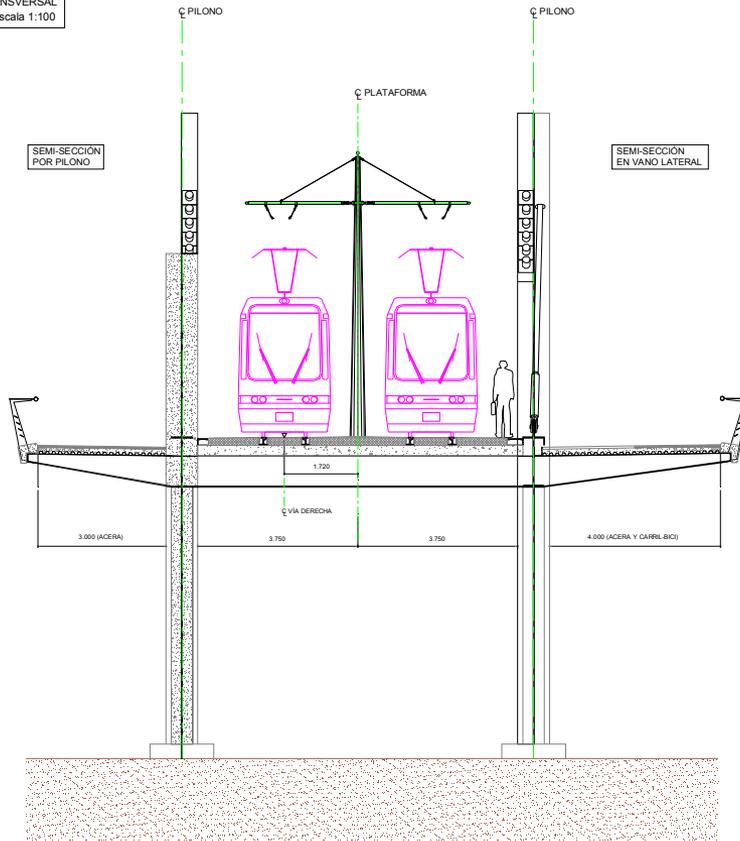
- torres en forma de *tijeras* que facilitan el anclaje de los tirantes
- construcción de complejidad media
- volumetría global bien proporcionada respecto al entorno

<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

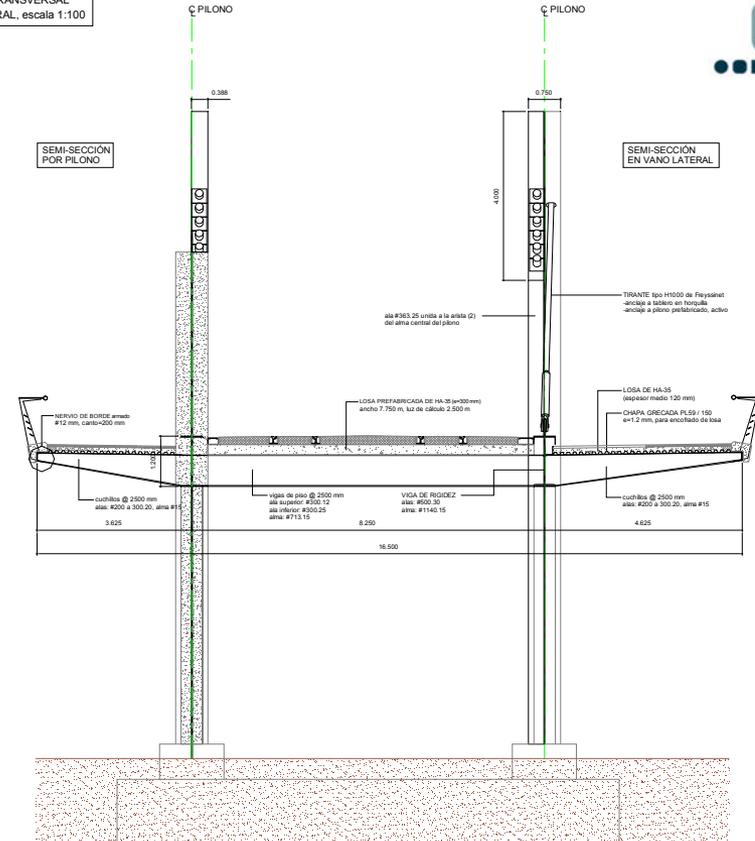
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

SECCIÓN TRANSVERSAL  
 FUNCIONAL, escala 1:100



SECCIÓN TRANSVERSAL  
 ESTRUCTURAL, escala 1:100



<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

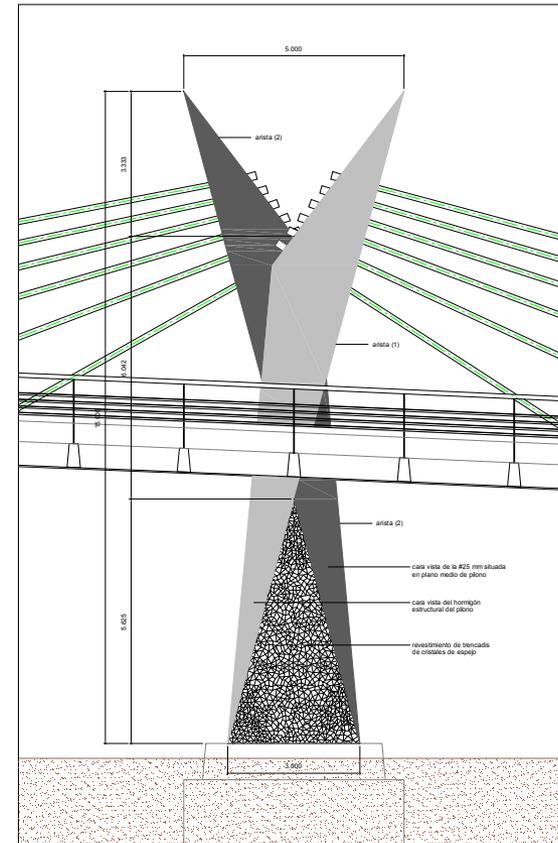
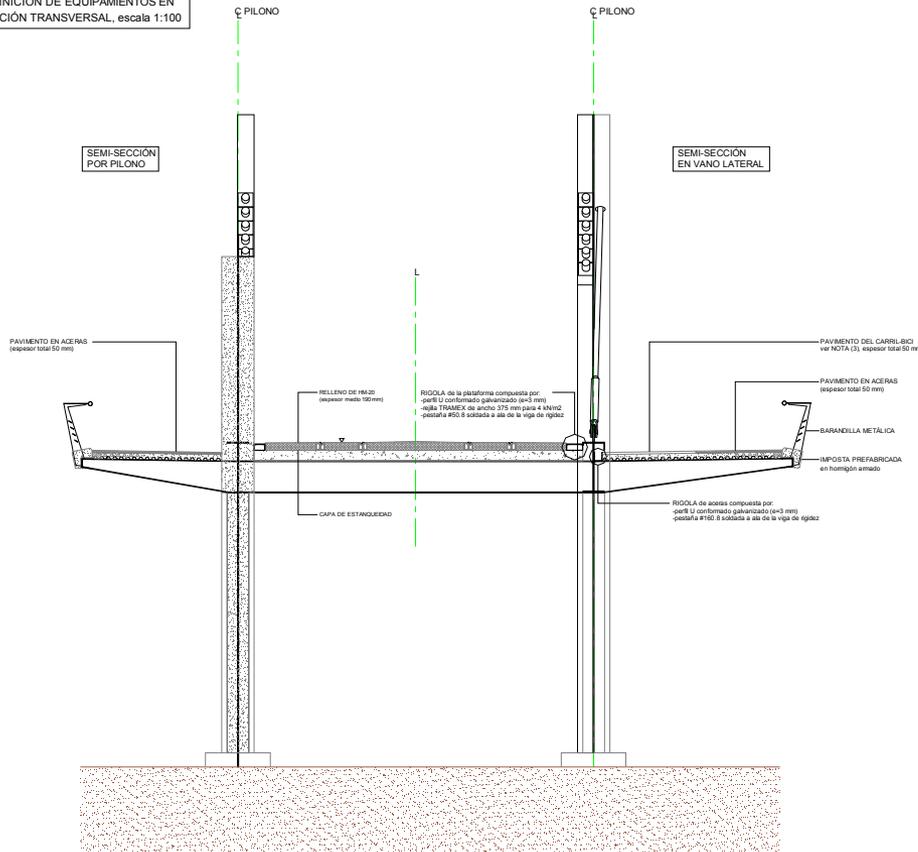
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

DEFINICIÓN DE EQUIPAMIENTOS EN SECCIÓN TRANSVERSAL, escala 1:100

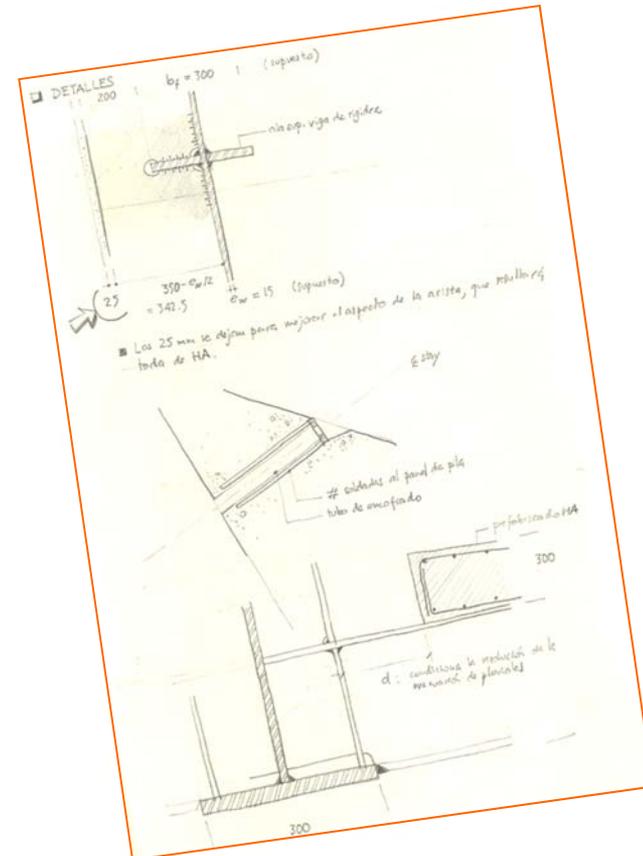
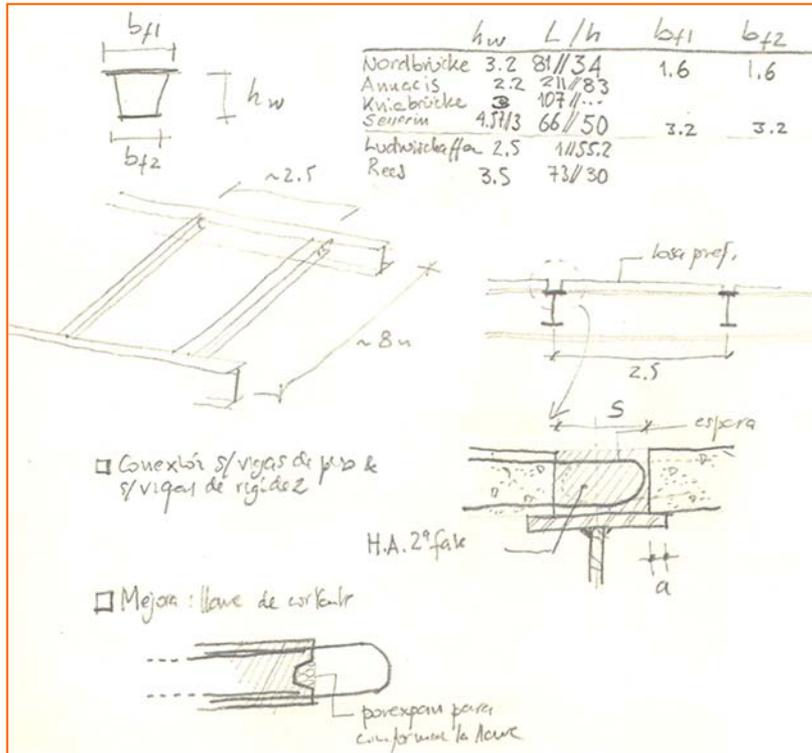


<Selección de la tipología: sistemas espaciales alternativos>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**



<Infografía 1>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos**



<Infografía 2>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



<Infografía 3>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

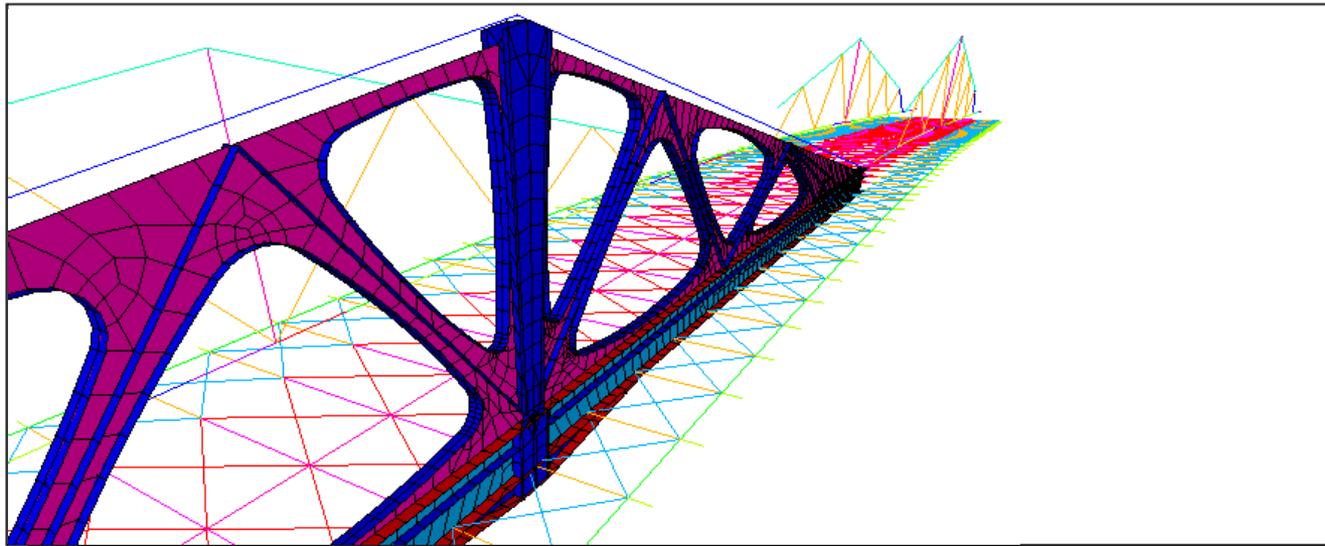


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

□ MODELO HÍBRIDO: lámina plegada y emparrillado de barras

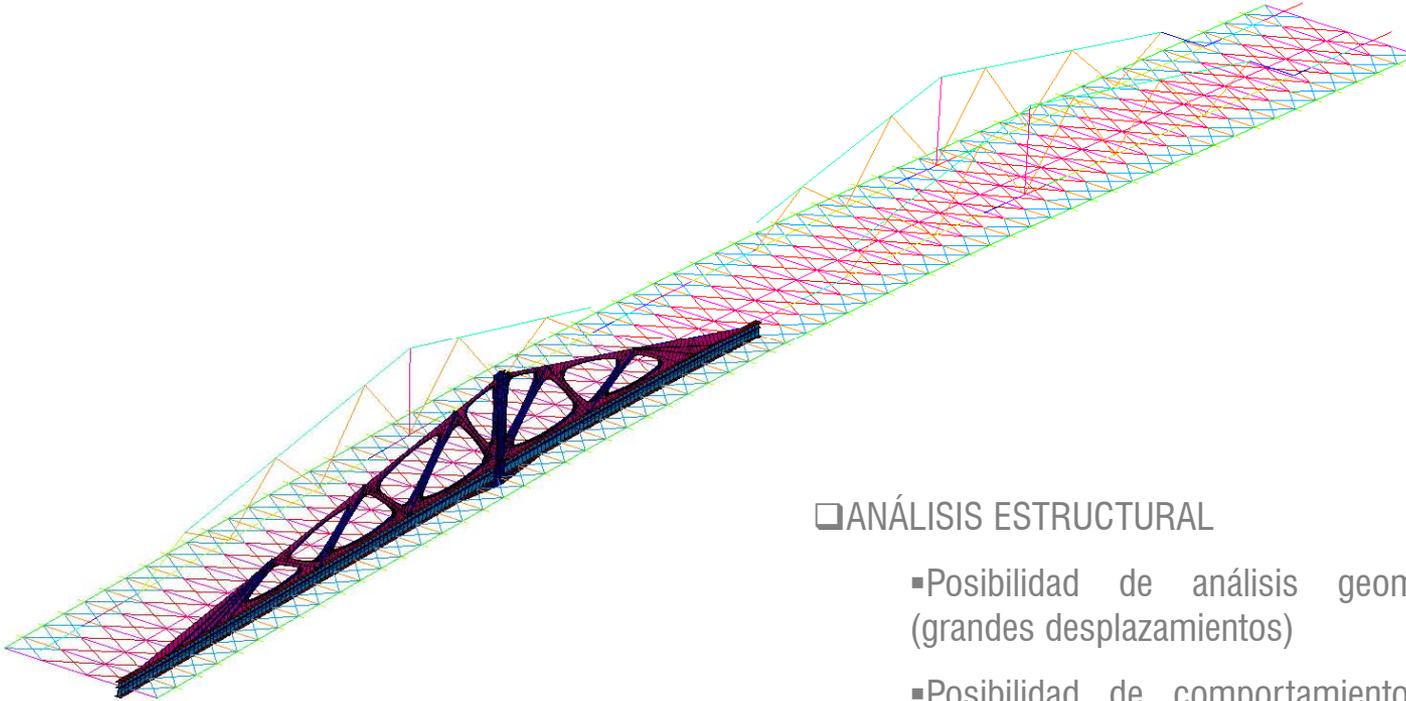
- Combinación de elementos barra y lámina en un único modelo: aleta modelada como lámina plegada insertada en un esqueleto de barras



<Modelado estructural global>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos



### □ ANÁLISIS ESTRUCTURAL

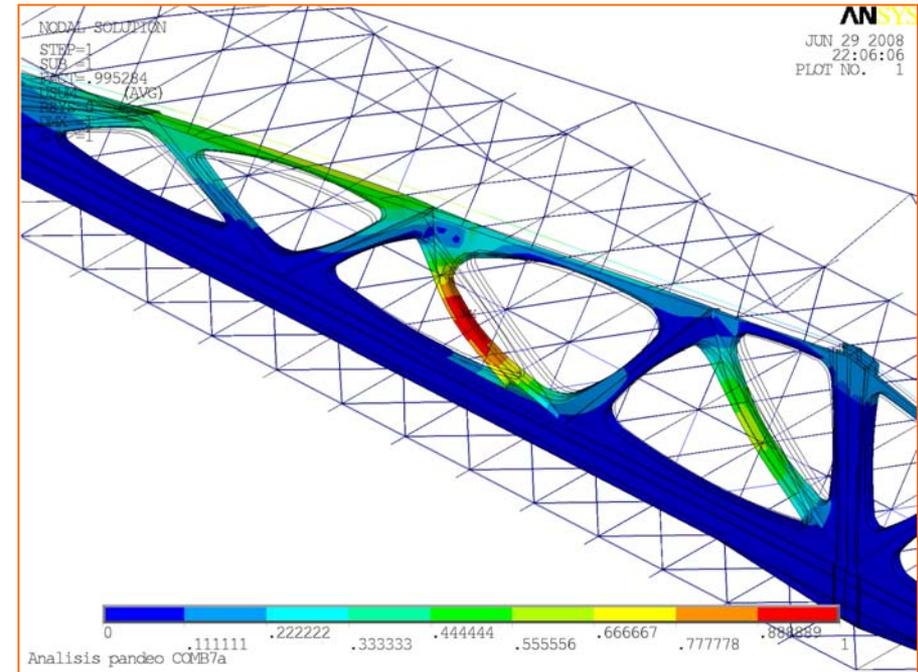
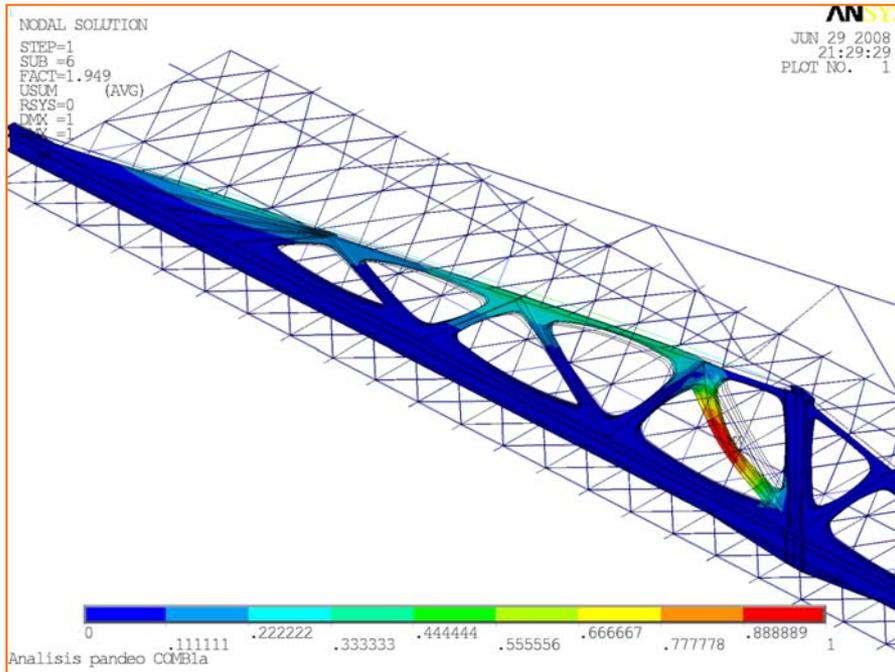
- Posibilidad de análisis geoméricamente no-lineal (grandes desplazamientos)
- Posibilidad de comportamiento elástico y lineal o elastoplástico de los materiales

<Modelado estructural global>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### ▀Pandeo de elementos esbeltos



<Cargas críticas y modos de pandeo>

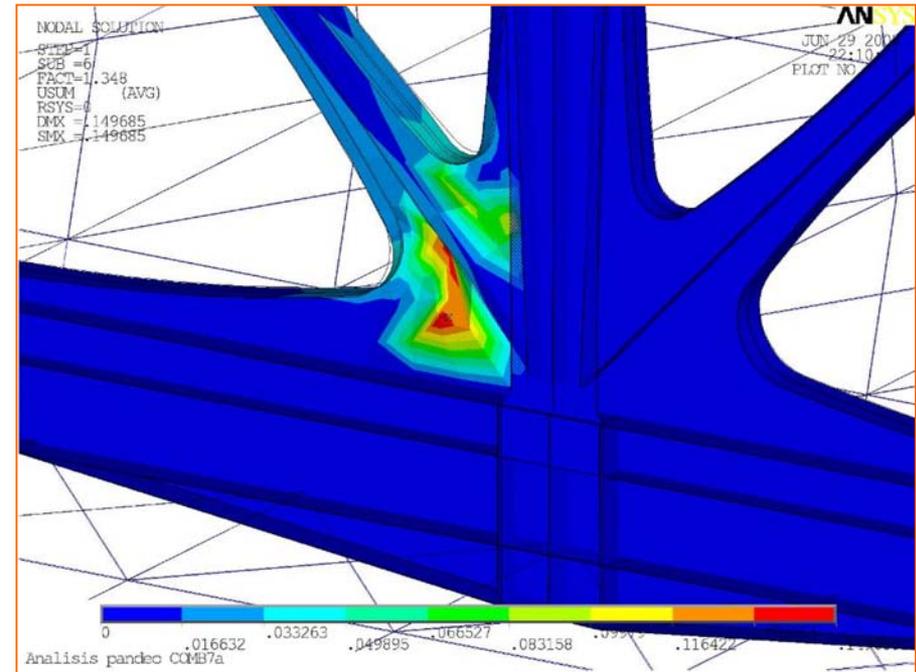
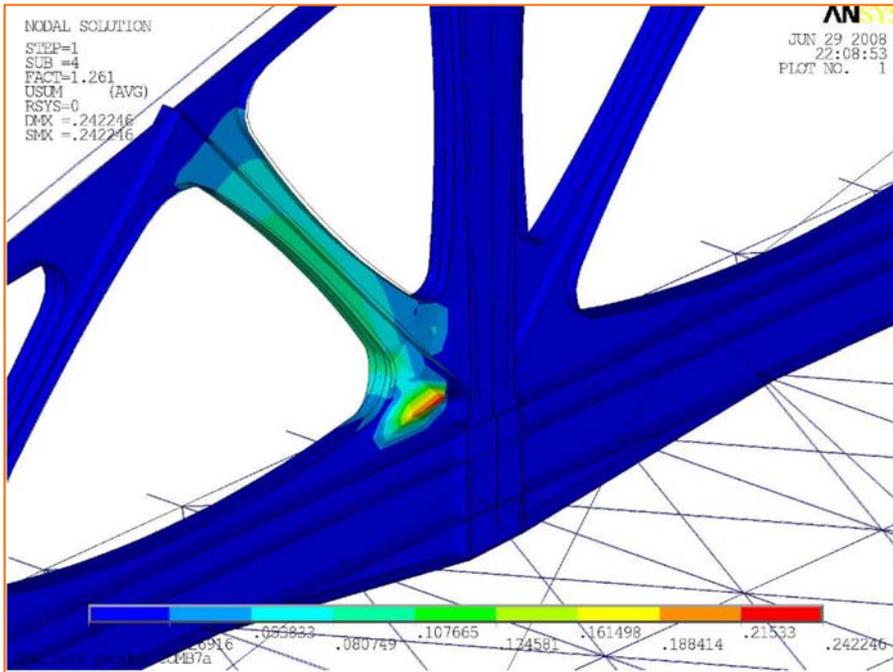
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### Abolladura de las almas

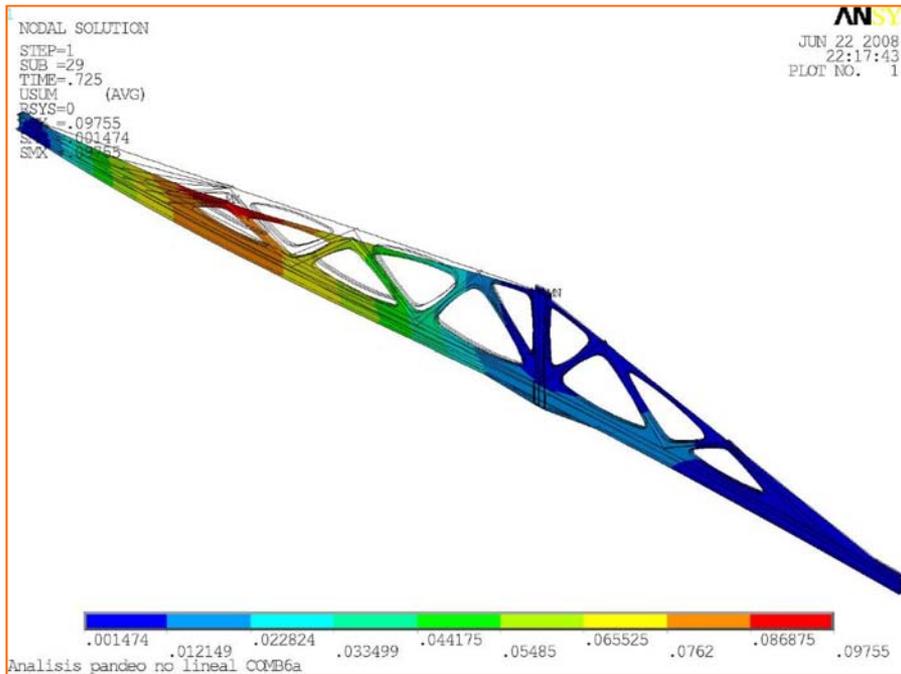


<Cargas críticas y modos de pandeo>

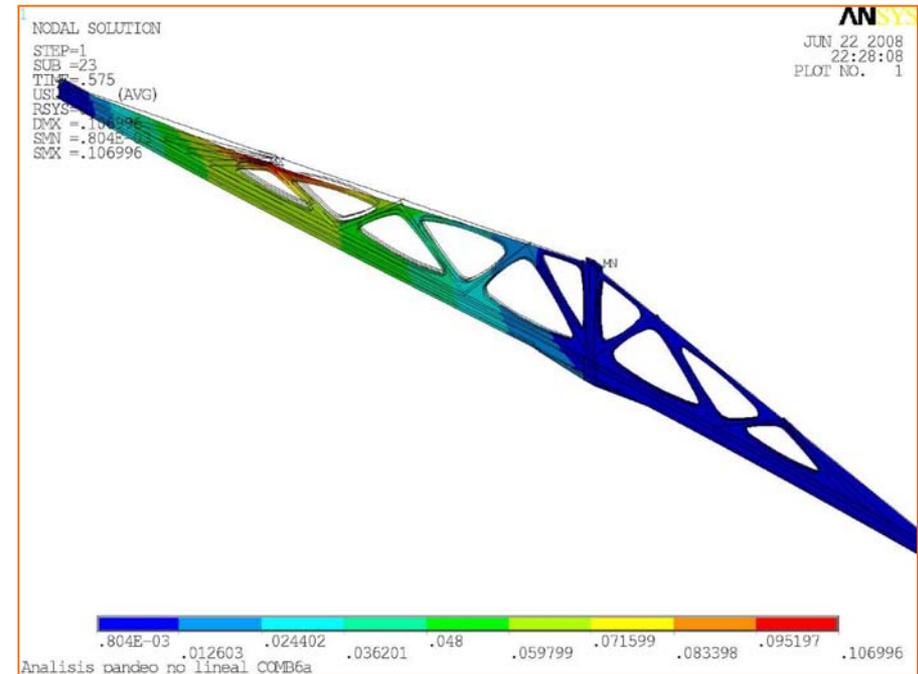
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

■ Sin imperfección



■ Con imperfección



<Pandeo no lineal>

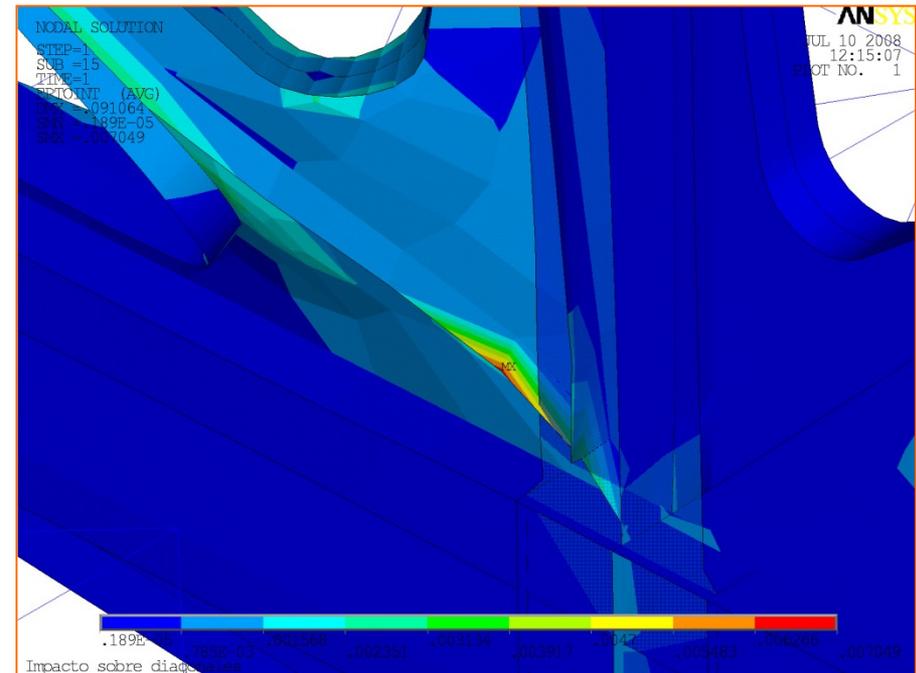
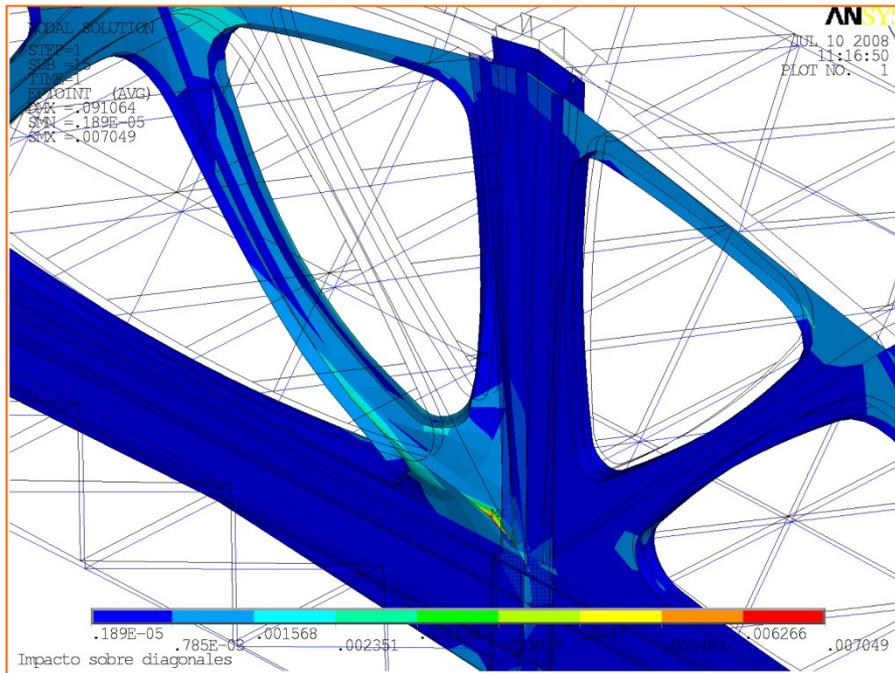
<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

- En ningún caso las deformaciones superaron a la de rotura  $\epsilon_u$

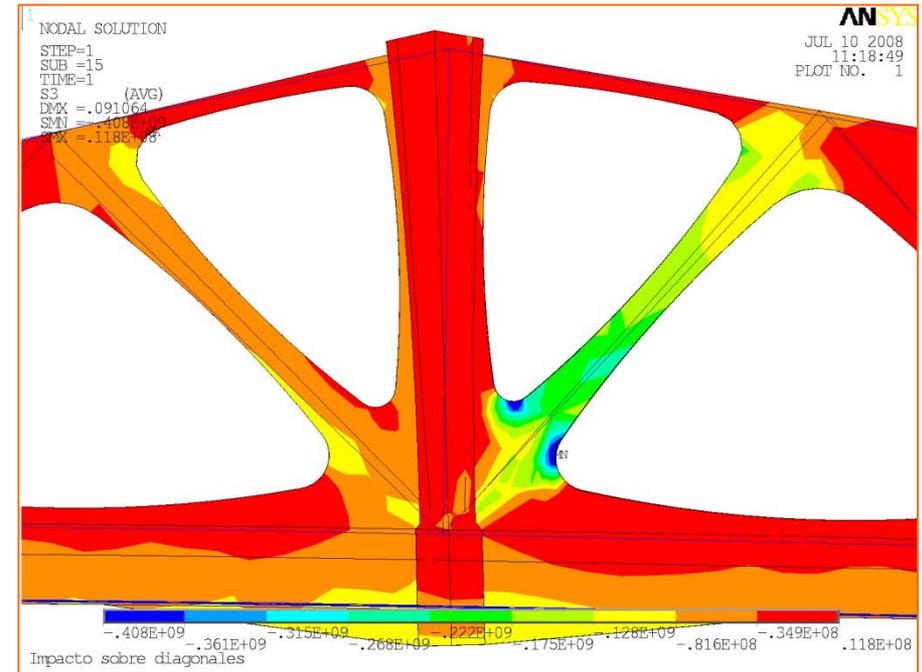
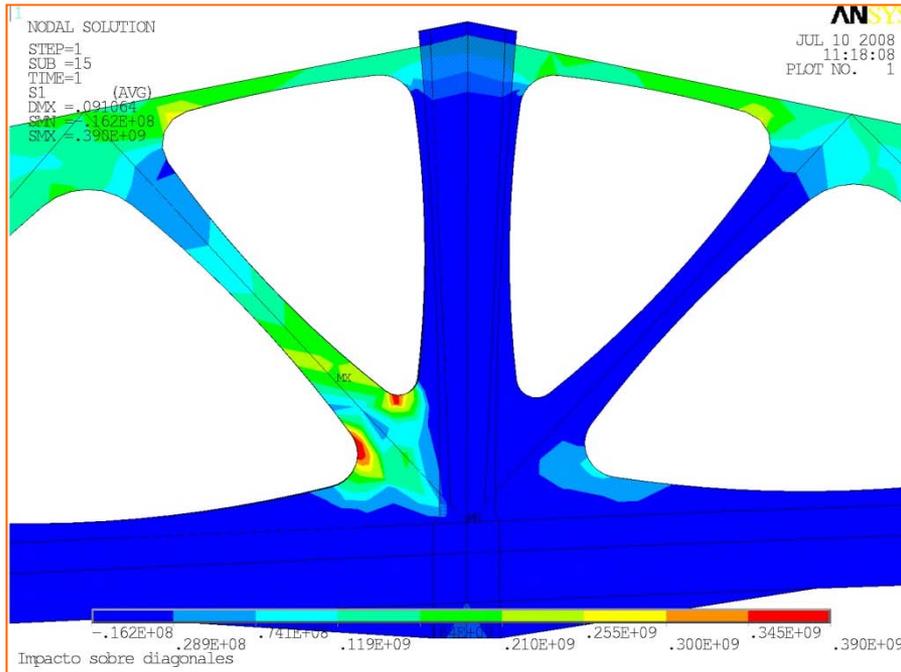


<Respuesta elastoplástica frente a impacto>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>

## 02 Selección de la tipología y diseño de equipamientos

### ■ Zonas plastificadas



<Respuesta elastoplástica frente a impacto>

<UN CASO PRÁCTICO: VIADUCTO DE LA LÍNEA T2 DEL TRANVÍA DE VALENCIA>



UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

**3.0 Motivación**

**3.1 Concepción de estribos**

**<función, acciones, morfología y proyecto>**

**3.2 Concepción de pilas**

**<características generales, acciones, morfología y proyecto>**

**3.3 Aparatos de apoyo y juntas de dilatación**

**<desplazamientos del tablero, morfología y proyecto de apoyos y juntas>**



## 03 Diseño de subestructuras

□ La serie de temas destinados a la concepción de tableros está precedida por una parcela del programa dedicada a las **subestructuras** (estribos y pilas) y a los **aparatos de apoyo** y **juntas de dilatación**. Este orden no es debido al azar; corresponde tanto a la **organización del proyecto** como sobre todo al **plan de ejecución de la obra** en la mayoría de los casos

□ El estudio de los estribos comienza por la definición de sus **funciones** y de los **elementos resistentes y funcionales** que los constituyen. Se prosigue con la descripción sistemática de la geometría y de las familias de armaduras para cada uno de los tres tipos de estribos más usuales:

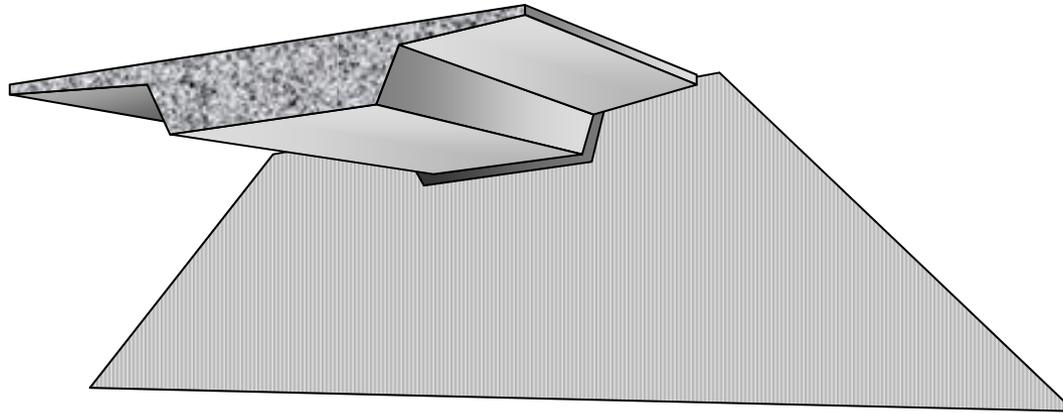
- Estribos cerrados simples
- Estribos cerrados con contrafuertes
- Estribos abiertos

También se discuten **alternativas del diseño**, con objeto de mostrar las posibilidades estéticas que posee cada una de ellas, y finalmente se establecen los **criterios de comprobación** de la estructura, listando el conjunto de Estados Límite a verificar

## 03 Diseño de subestructuras

□ Materializa la **transición** entre el tablero y los terraplenes de acceso al puente, ello significa que:

- constituye el apoyo final del tablero
- contiene las tierras del terraplén (*generalmente*)
- debe garantizar una transición suave para el tráfico



*Sistema básico:* estribo compuesto por **muro frontal** con aletas en prolongación

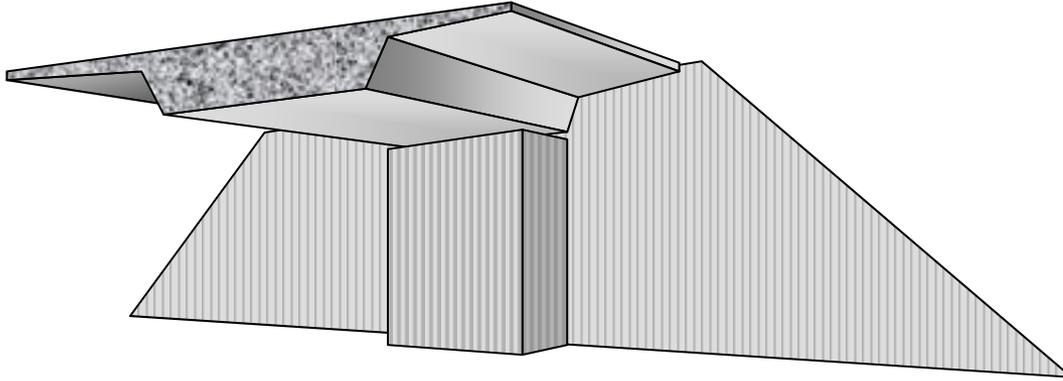
<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

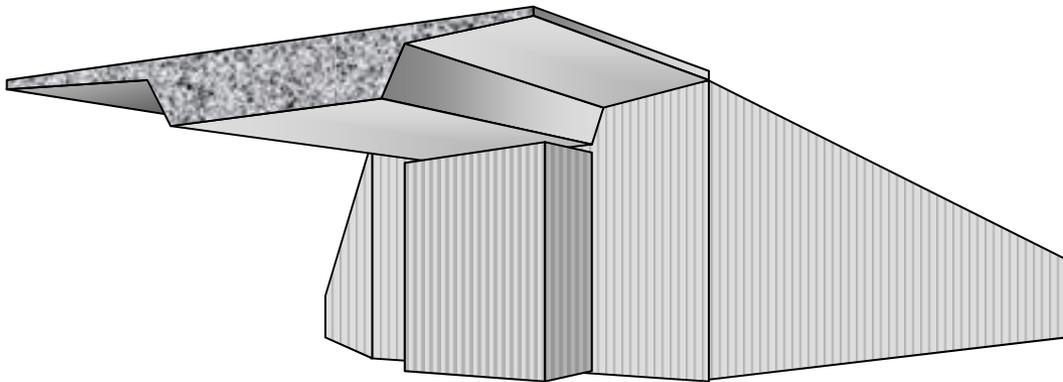


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



A) Estribo compuesto por *muro frontal resaltado* con aletas en prolongación



B) Estribo compuesto por *muro frontal resaltado* con *aletas en quiebro*

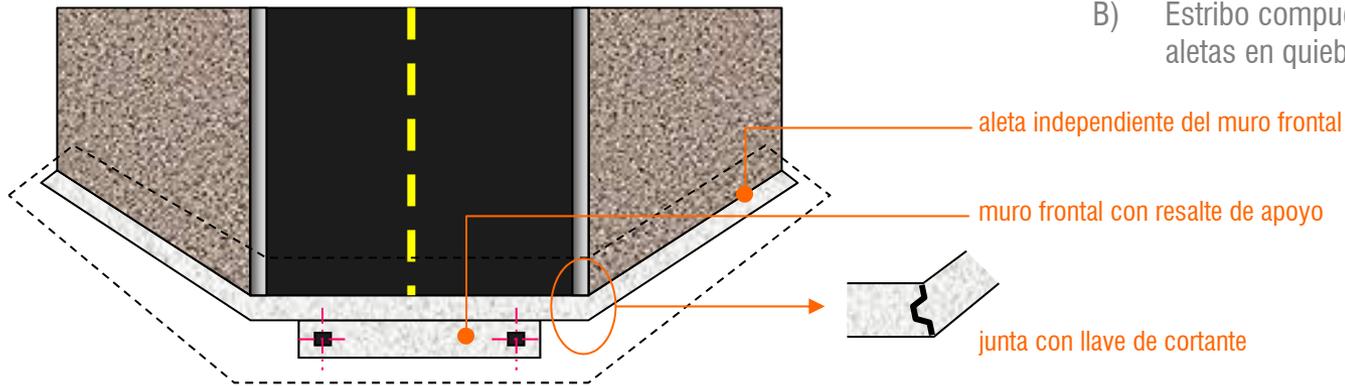
<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

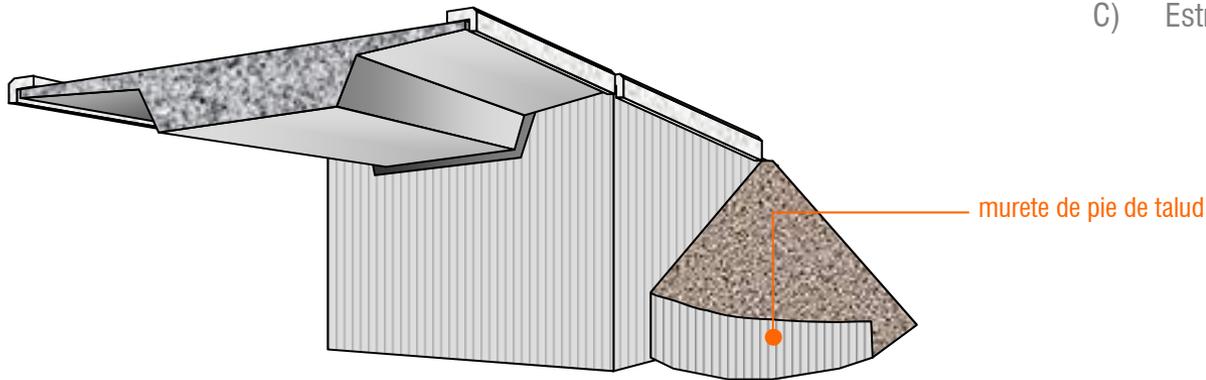


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



B) Estribo compuesto por *muro frontal resaltado* con aletas en quiebro (*planta*)



C) Estribo cerrado con *muros en vuelta*

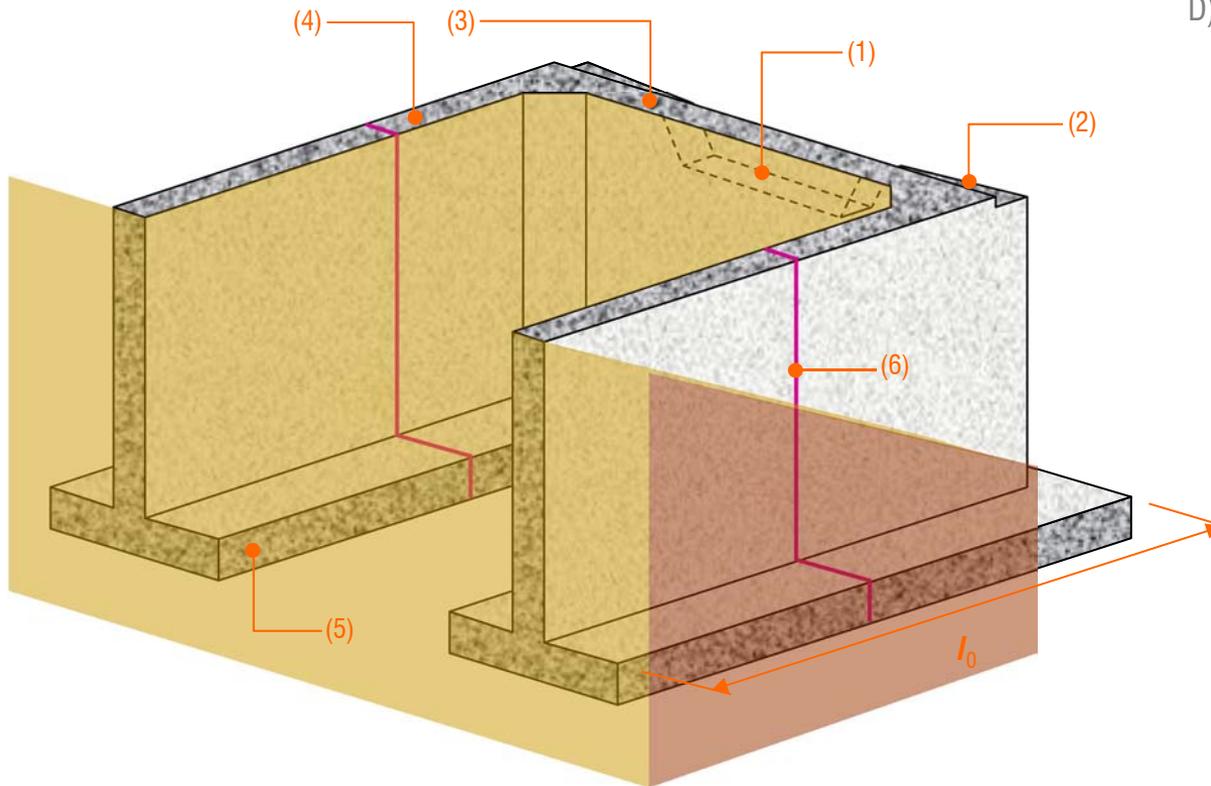
<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



D) Vista interior de un *estribo cerrado* con **muros en vuelta**

- (1) Cajeadado en muro frontal para alojar el tablero
- (2) Cajeadado en muro frontal para alojar el voladizo lateral
- (3) Murete de guarda
- (4) Muro en vuelta
- (5) Zapata en U (*puede ser losa o encepado*)
- (6) junta de retracción (con llave de cortante, si  $l_0 > 10$  m)

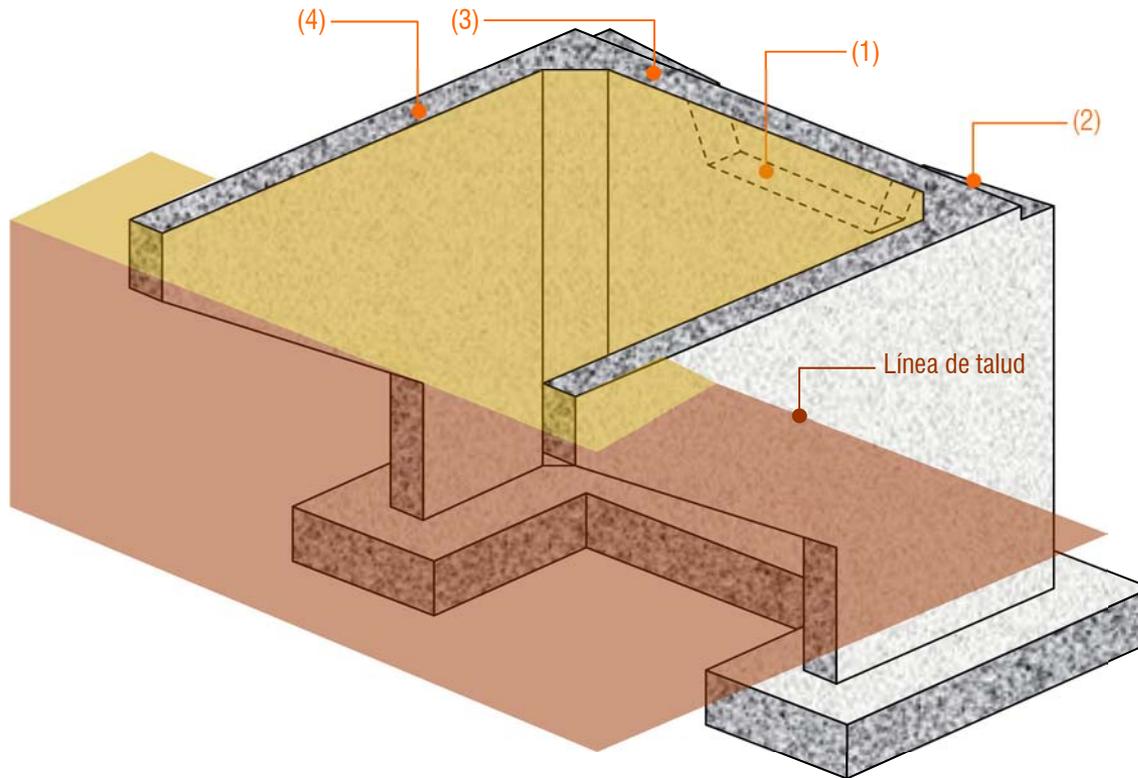
<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



E) Vista interior de un *estribo cerrado* con *aletas en voladizo*

- (1) Cajado en muro frontal para alojar el tablero
- (2) Cajado en muro frontal para alojar el voladizo lateral
- (3) Murete de guarda
- (4) Aleta en voladizo

<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

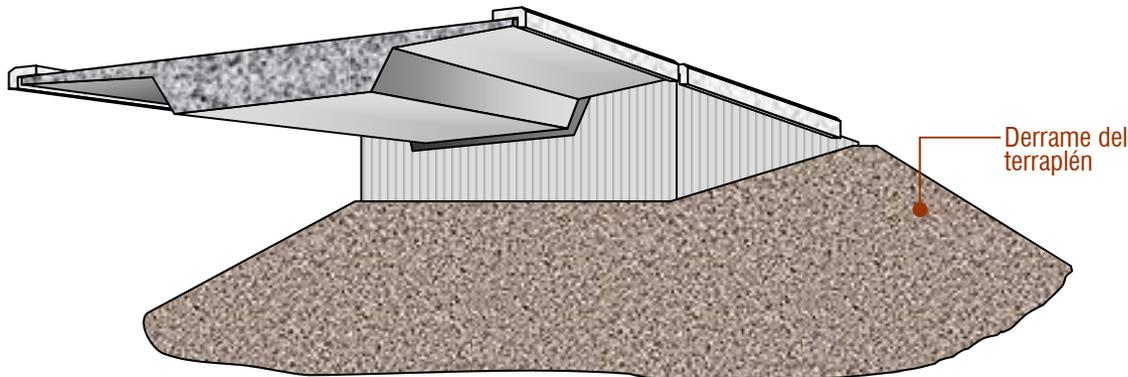
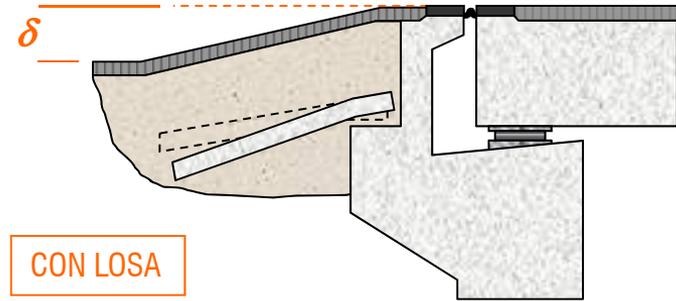
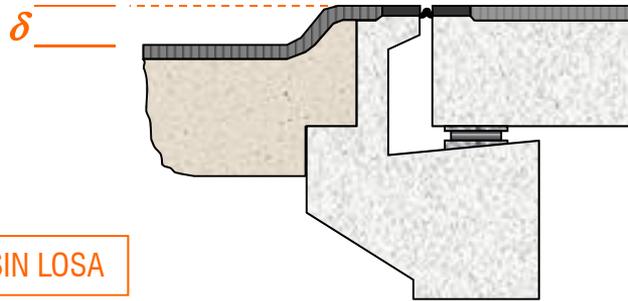
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ **Losa de transición:** uniformiza el paso de tablero a relleno del trasdós del estribo



F) Estribo (*abierto*) **semiculto** en el derrame del terraplén

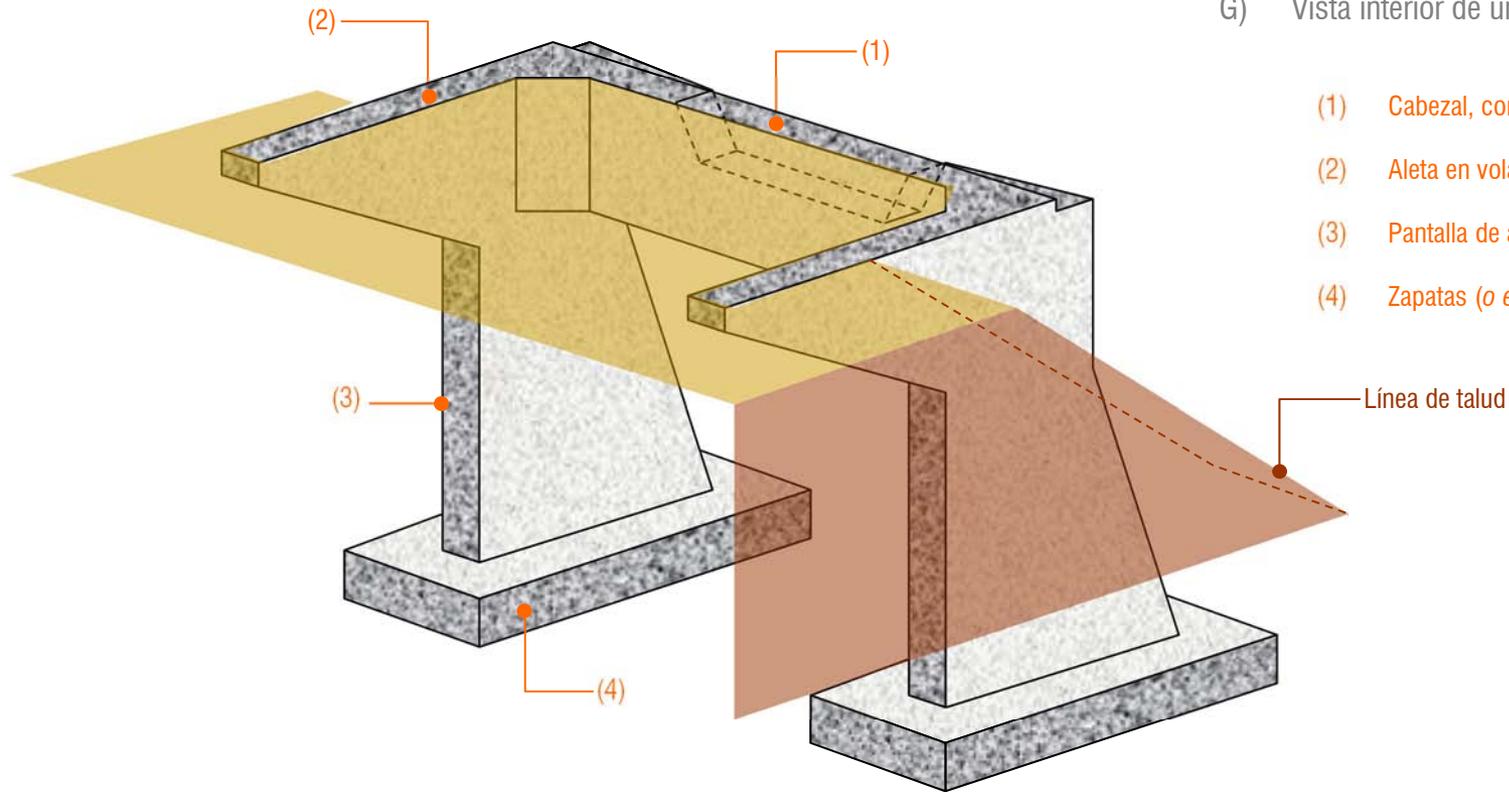
<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



G) Vista interior de un *estribo abierto*

- (1) Cabezal, con los correspondientes cajeados
- (2) Aleta en voladizo
- (3) Pantalla de apoyo
- (4) Zapatas (o *encepados*) individuales

Línea de talud

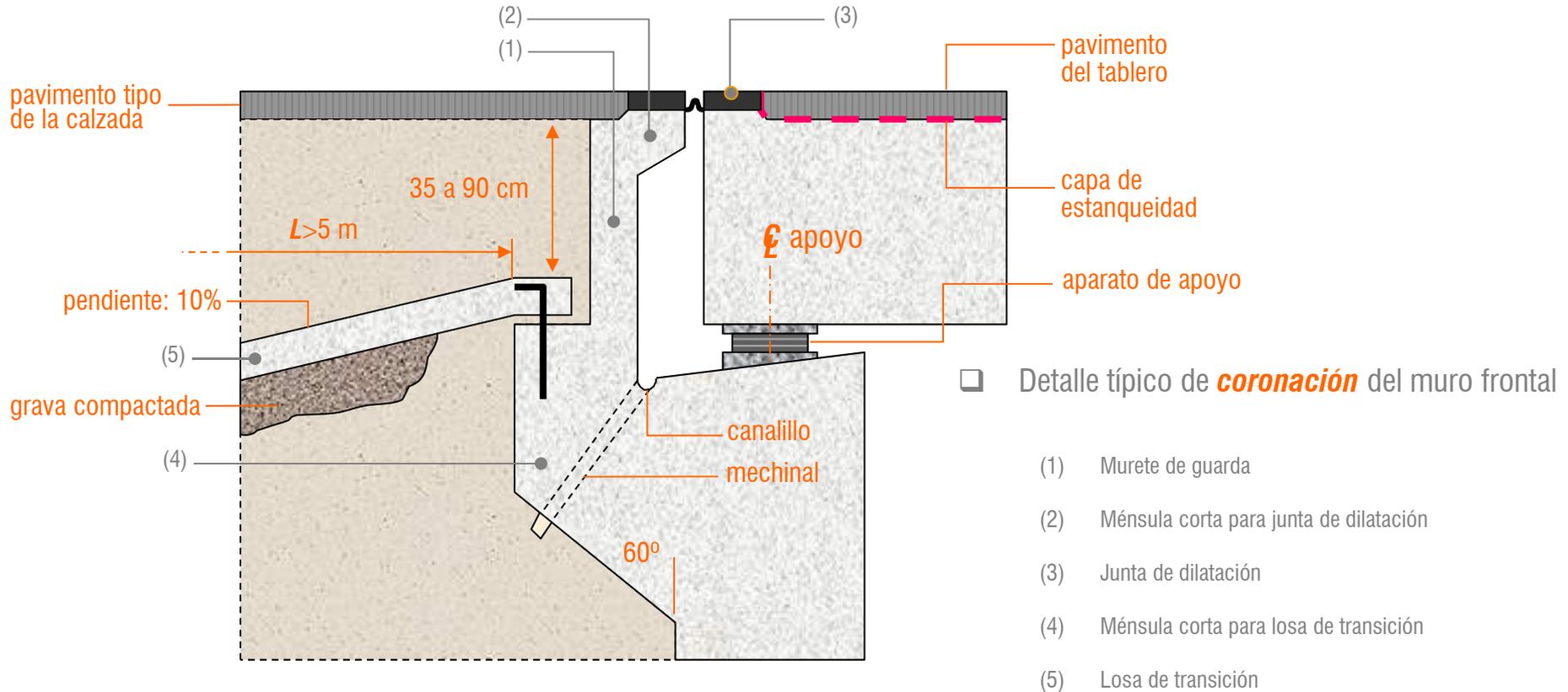
<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



<3.1.1 Función del estribo y elementos constitutivos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

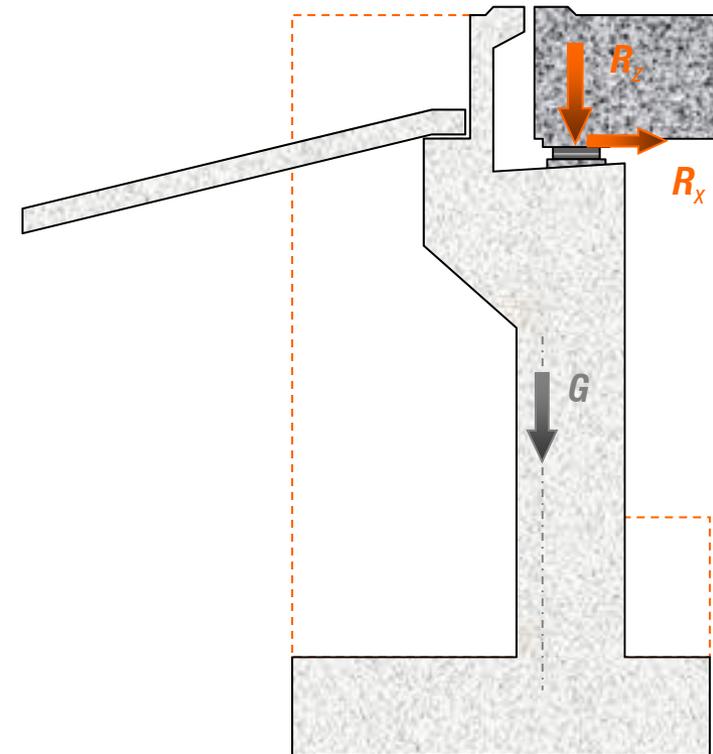
## 03 Diseño de subestructuras

### Acciones del tablero

$R_z$	peso propio	$G$
	carga muerta	$G$
	pretensado hiperestático	$G^*$
	asientos	$G^*$
	tren de cargas vertical	$Q$
	viento (vertical y vuelco)	$Q$
	temperaturas ( $\Delta\theta$ )	$Q$
sismo vertical	$A$	
$R_{x,y}$	pretensado y reología	$G^*$
	tren de cargas horizontal	$Q$
	viento: empuje transv. y long.	$Q$
	temperaturas ( $\Delta T$ )	$Q$
	impacto	$A$
	sismo horizontal	$A$

### Peso propio del estribo

Este se obtiene de sumar el peso de los distintos elementos estructurales (*muro frontal, murete de guarda, zapata...*)



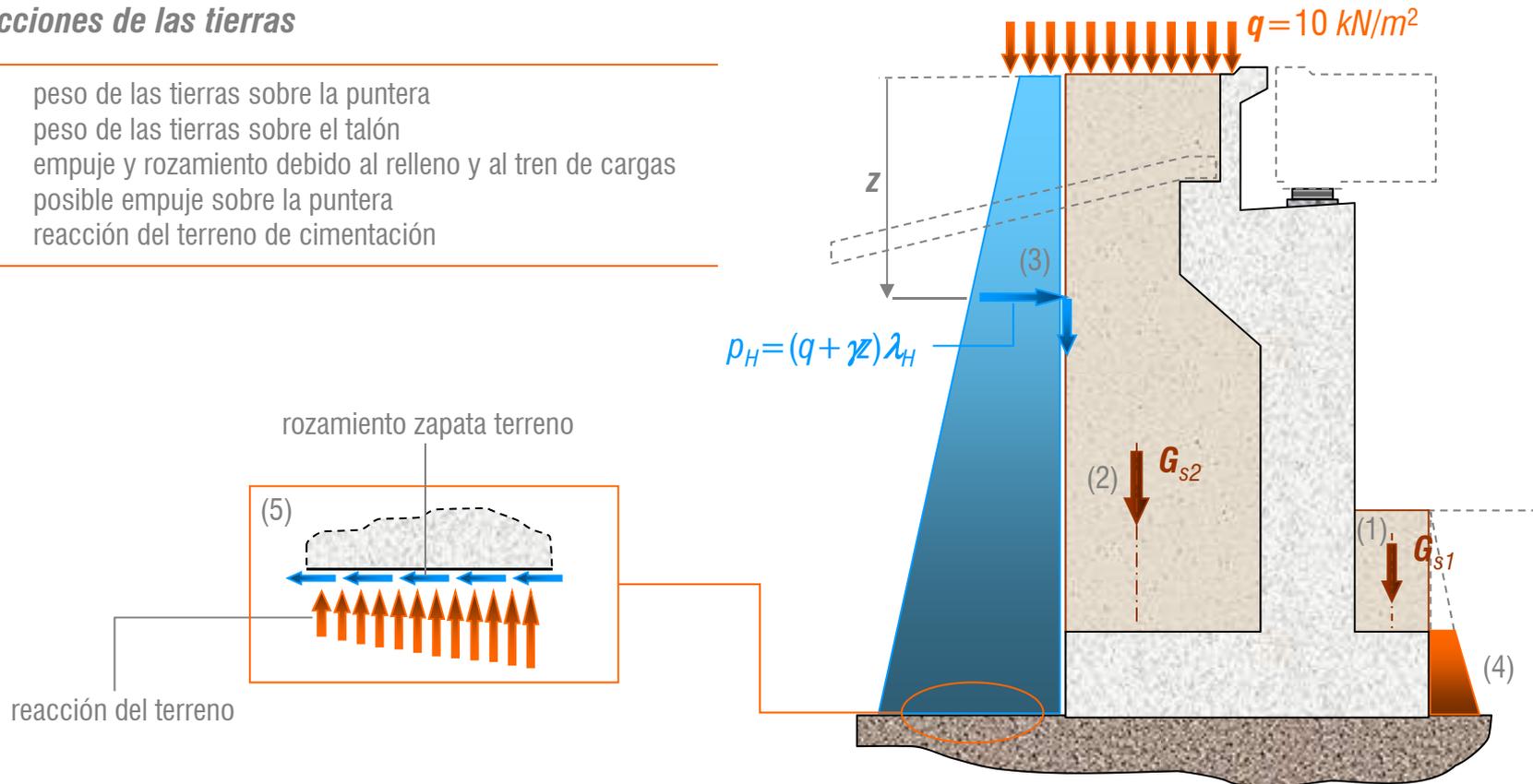
### <3.1.2 Acciones sobre estribos>

### <3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

## 03 Diseño de subestructuras

## □ Acciones de las tierras

- (1) peso de las tierras sobre la puntera
- (2) peso de las tierras sobre el talón
- (3) empuje y rozamiento debido al relleno y al tren de cargas
- (4) posible empuje sobre la puntera
- (5) reacción del terreno de cimentación



## &lt;3.1.2 Acciones sobre estribos&gt;

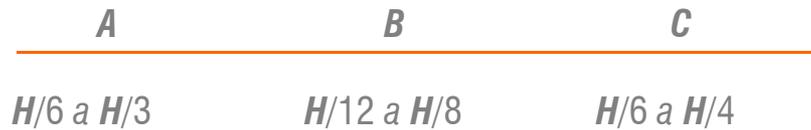
## &lt;3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS&gt;

## 03 Diseño de subestructuras

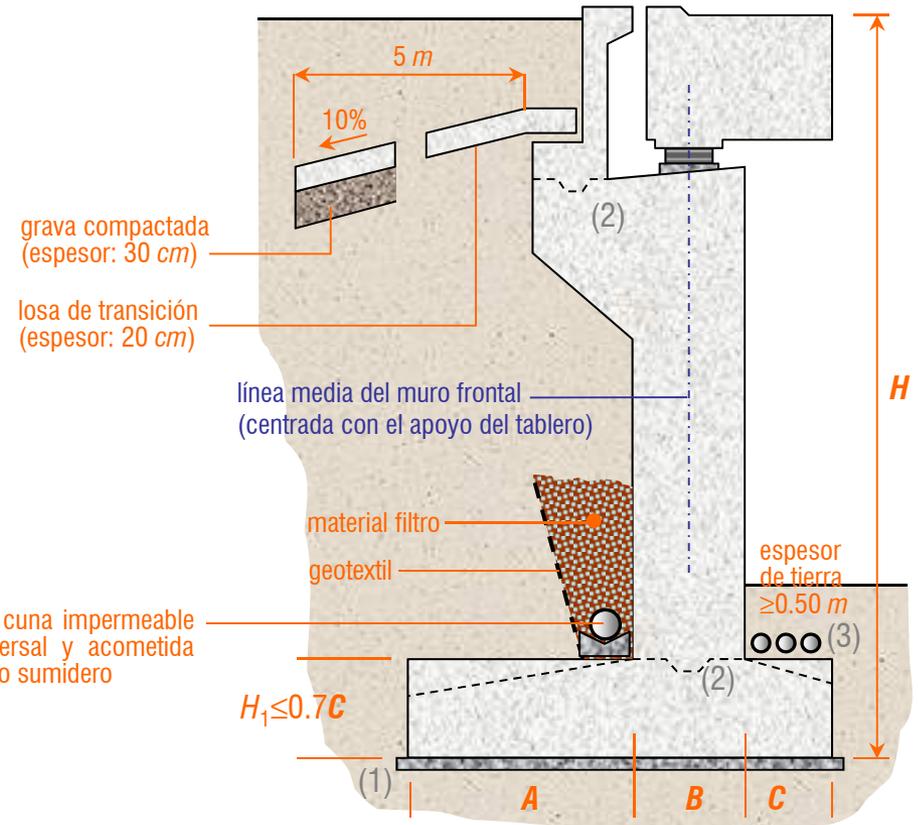
### □ Estribos cerrados simples

- (1) Hormigón de limpieza
- (2) Juntas de hormigonado
- (3) Posibles canalizaciones enterradas

- *murete de guarda y apoyo del tablero:*  
*ver diapositiva adjunta*



*tubo drenante* sobre cuna impermeable con pendiente transversal y acometida registrable a emisario o sumidero



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

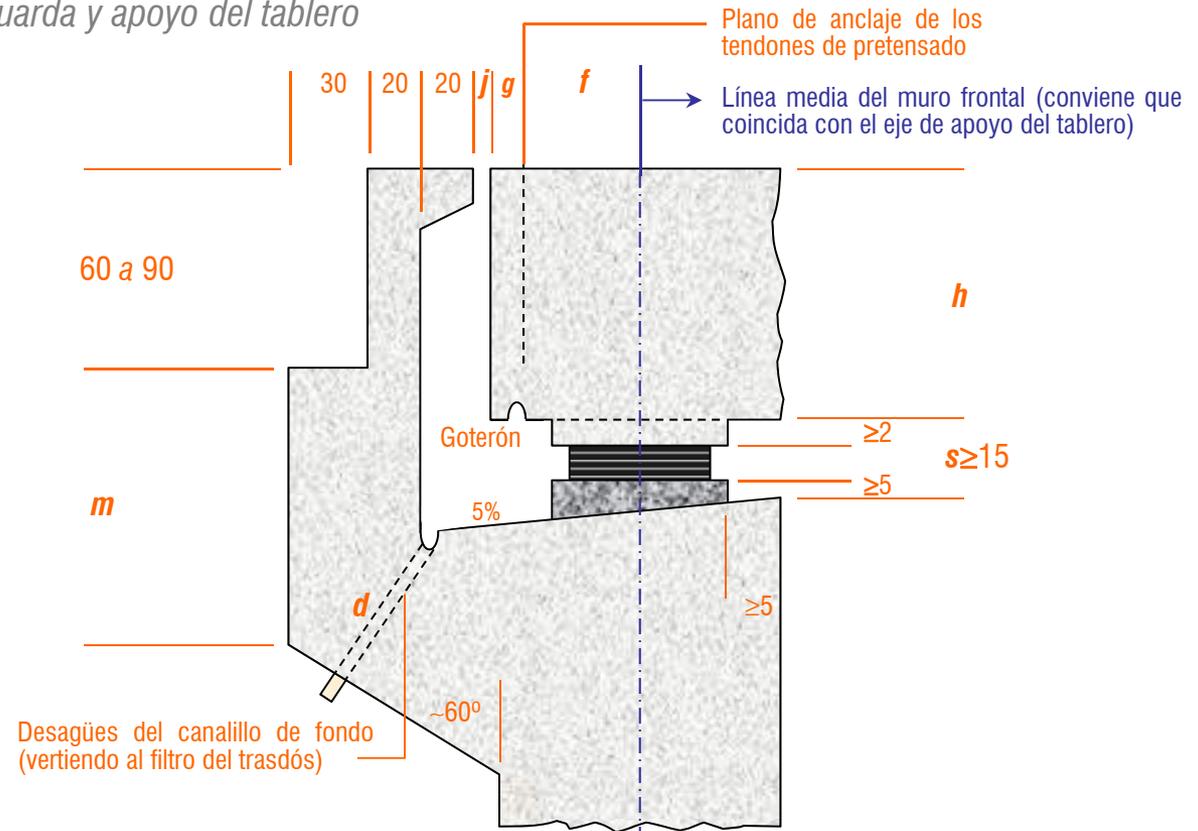


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

## □ Estribos cerrados simples: murete de guarda y apoyo del tablero

- $j_{min} = 3 \text{ cm}$  (según temperatura de montaje)
- $g_{min} = 15 \text{ cm}$  (espesor del sellado de los cajetines de anclajes)
- $f_{min} = h/6$ , por el efecto conjunto de reacción y fuerza de pretensado
- $m$  tal que  $d \geq 50 \text{ cm}$

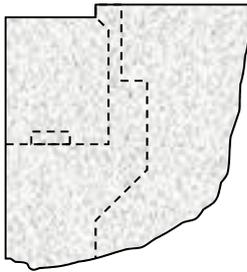


## &lt;3.1.3 Morfología y proyecto de estribos&gt;

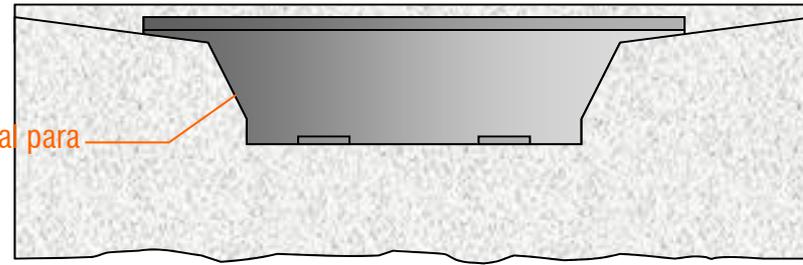
## &lt;3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS&gt;

## 03 Diseño de subestructuras

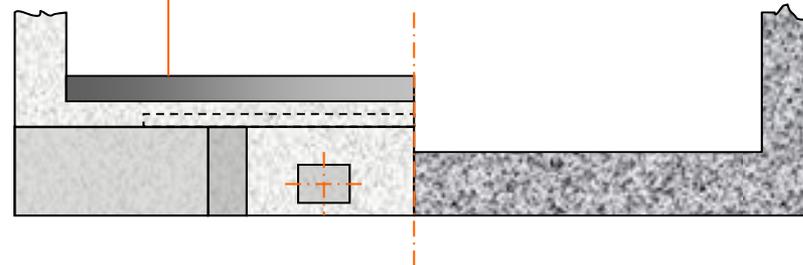
- Estribos cerrados simples: *aspectos arquitectónicos (tableros de sección cerrada, como losas o cajones)*



cajeado del muro frontal para  
entronque del tablero



ménsula de apoyo de  
la losa de transición



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

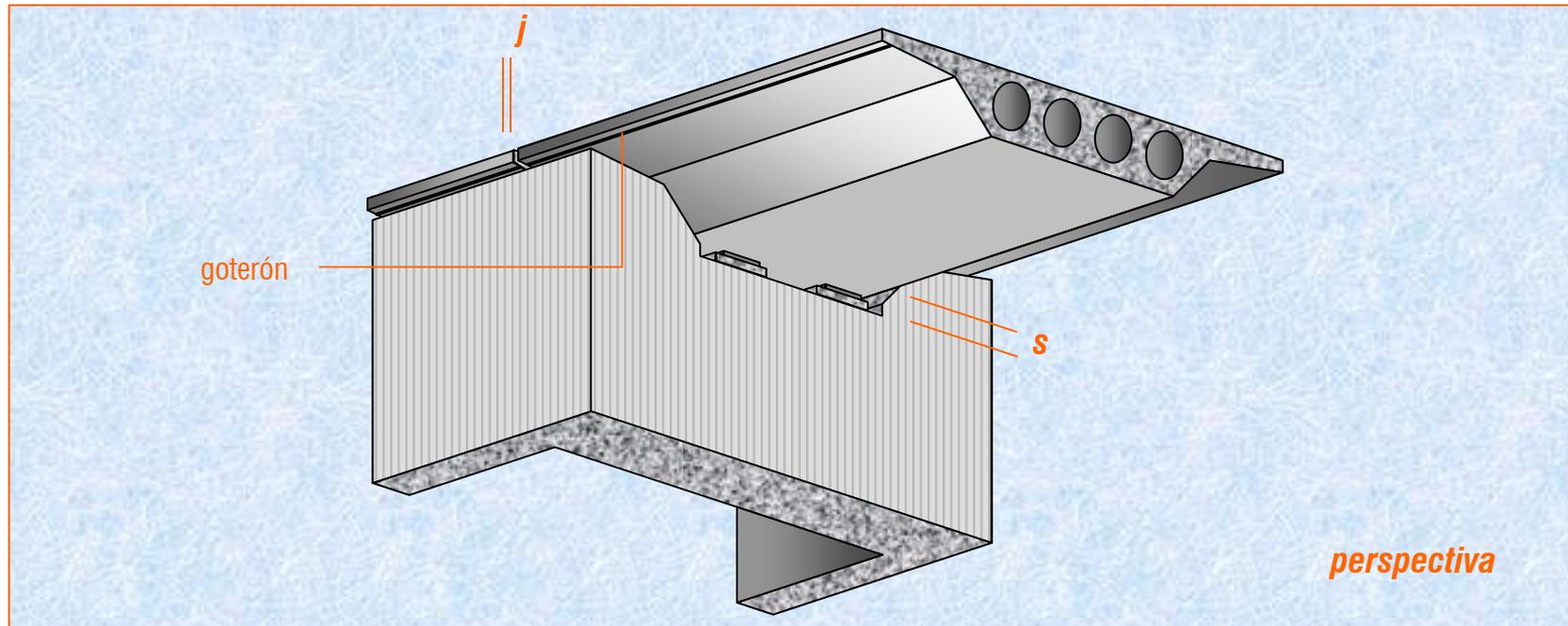
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Estribos cerrados simples: *aspectos arquitectónicos (tableros de sección cerrada, como losas o cajones)*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

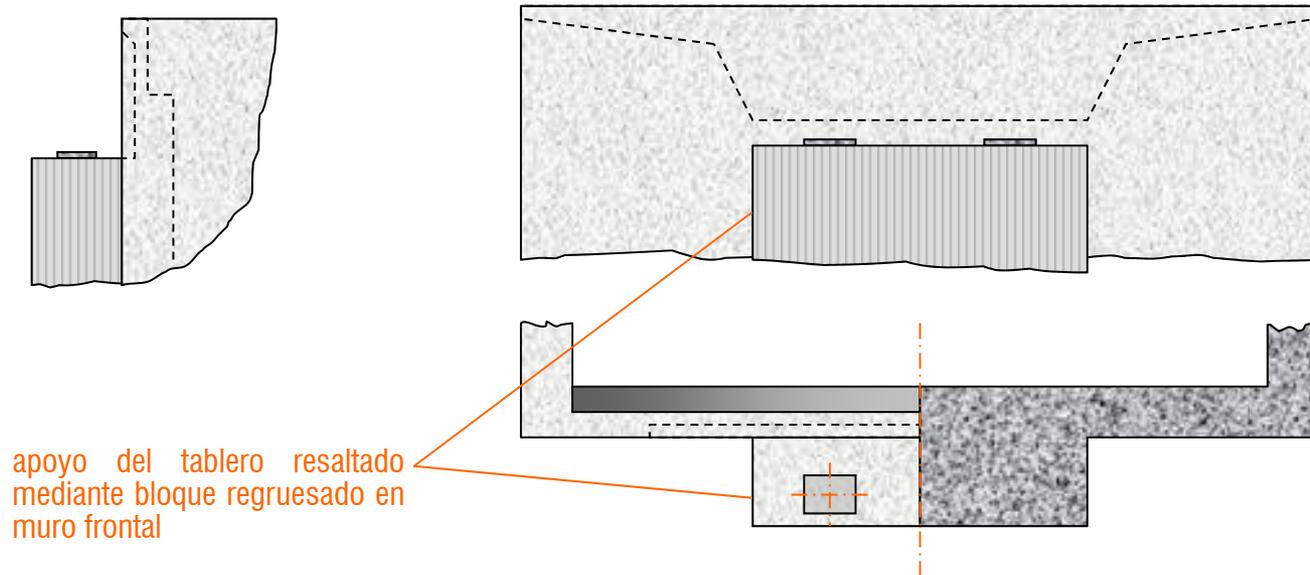
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Estribos cerrados simples: *aspectos arquitectónicos (tableros de sección cerrada, como losas o cajones)*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

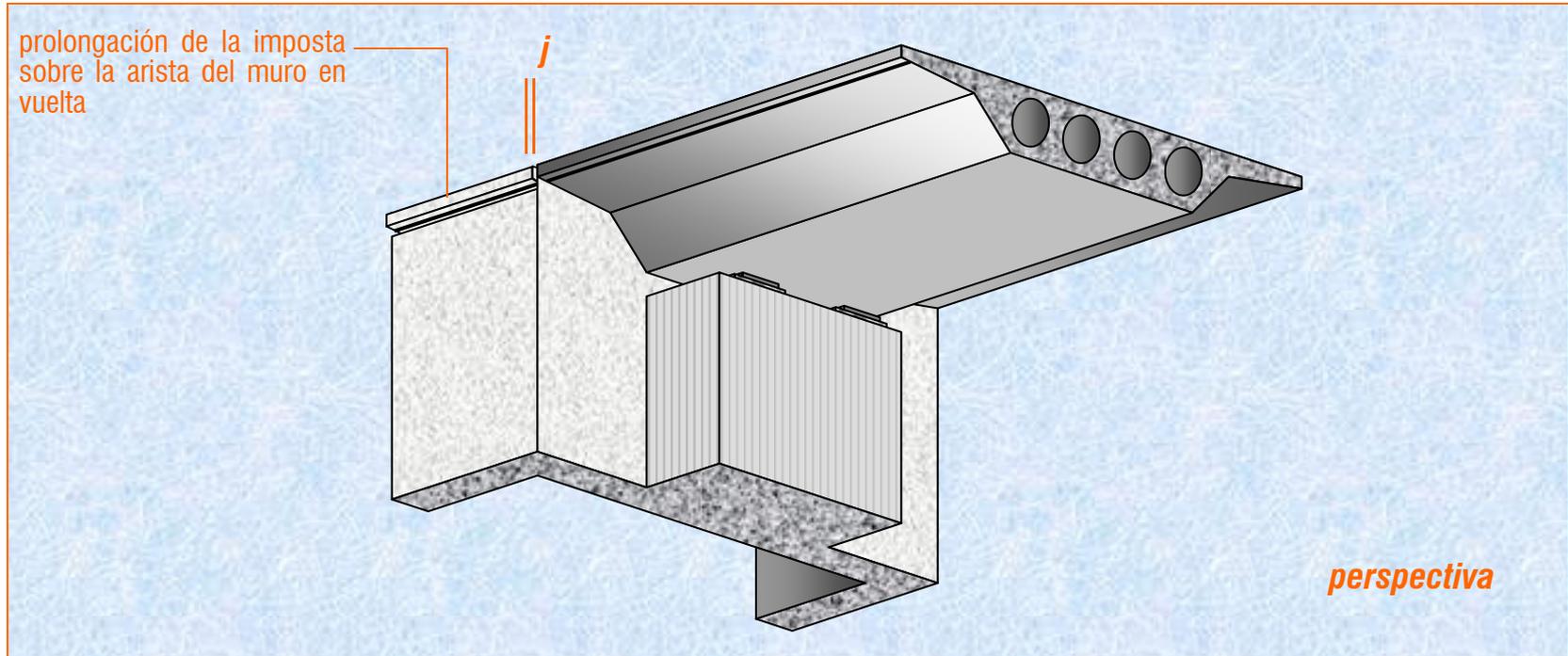
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Estribos cerrados simples: *aspectos arquitectónicos (tableros de sección cerrada, como losas o cajones)*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

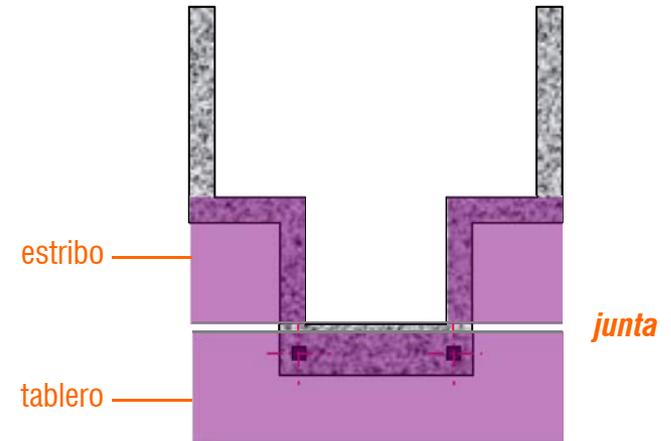
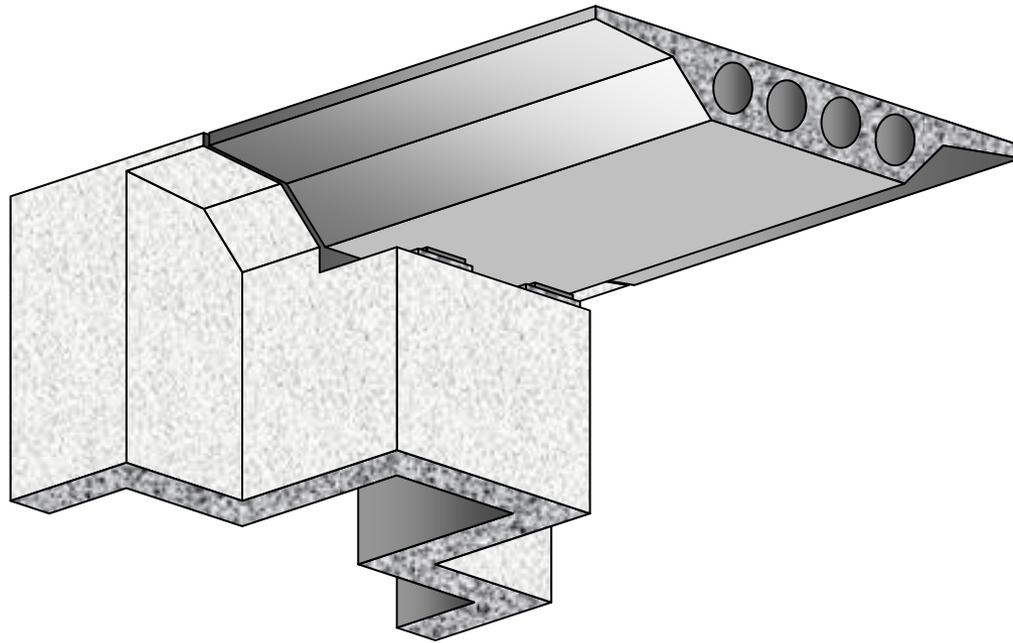
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Estribos cerrados simples: *variantes/mejoras de la transición formal estribo-tablero*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

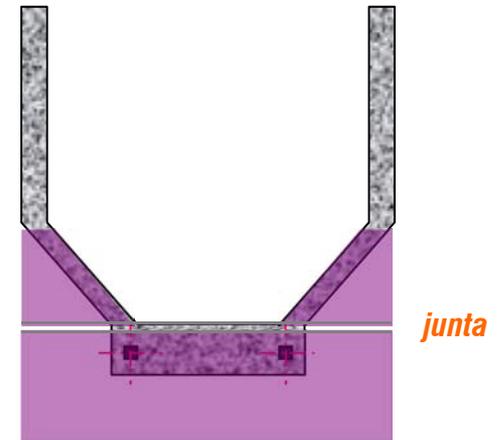
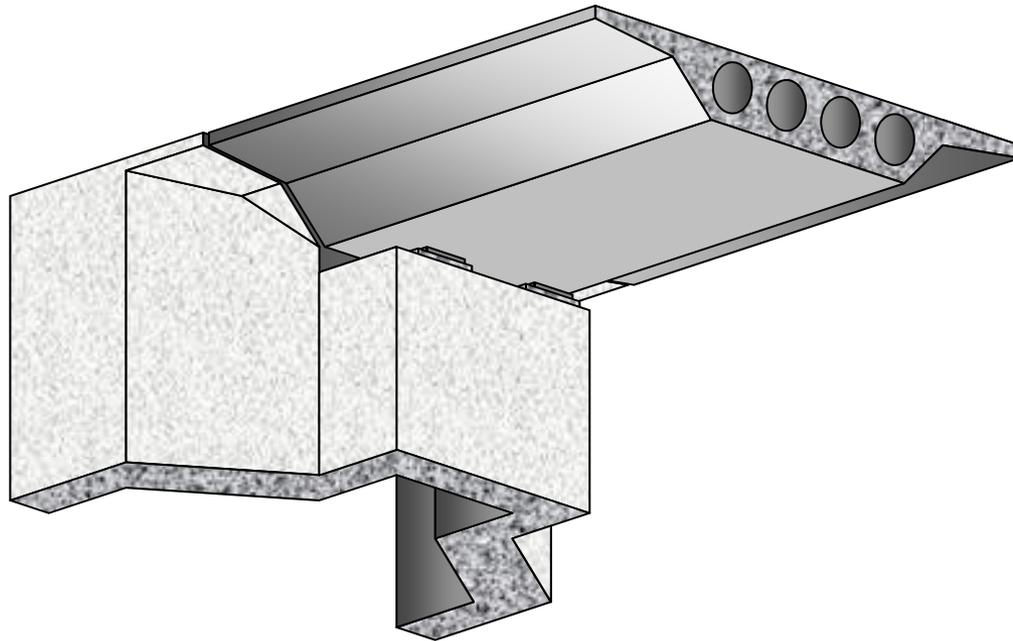
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Estribos cerrados simples: *variantes/mejoras de la transición formal estribo-tablero*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

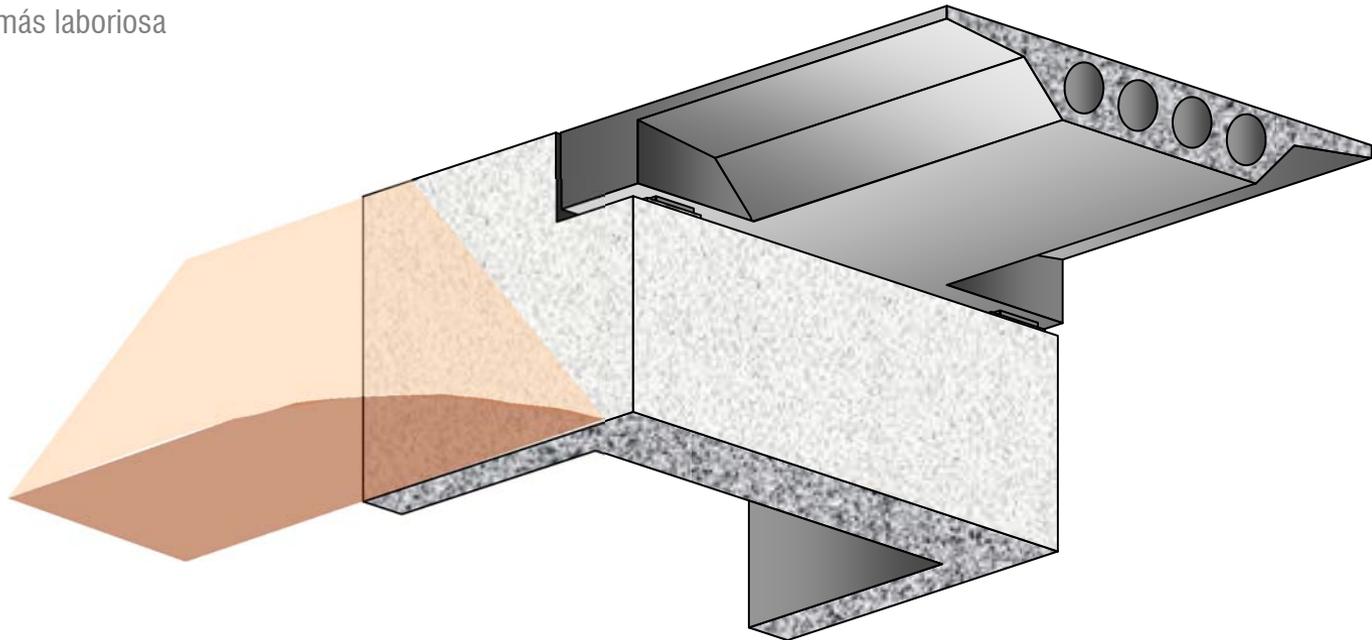


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Estribos cerrados simples: *apoyo mediante riostra final de canto constante*

- permite aumentar el par de los aparatos de apoyo
- simplifica la geometría de la coronación del muro frontal
- su ejecución es algo más laboriosa



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



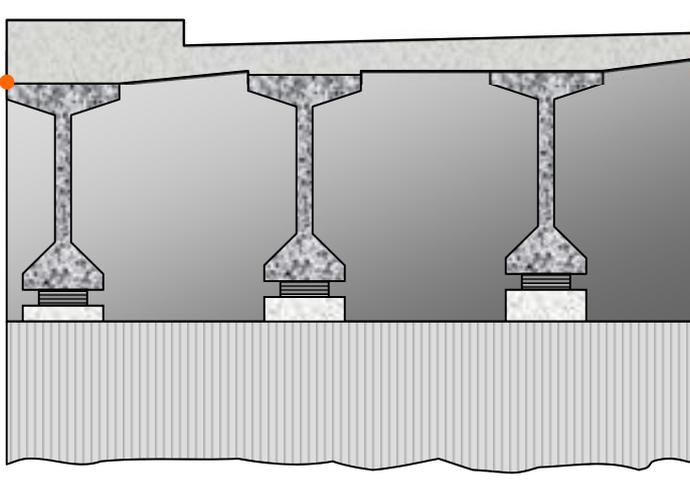
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Estribos cerrados simples: aspectos arquitectónicos (tableros de vigas)

(A) Solución frecuente y *poco afortunada*

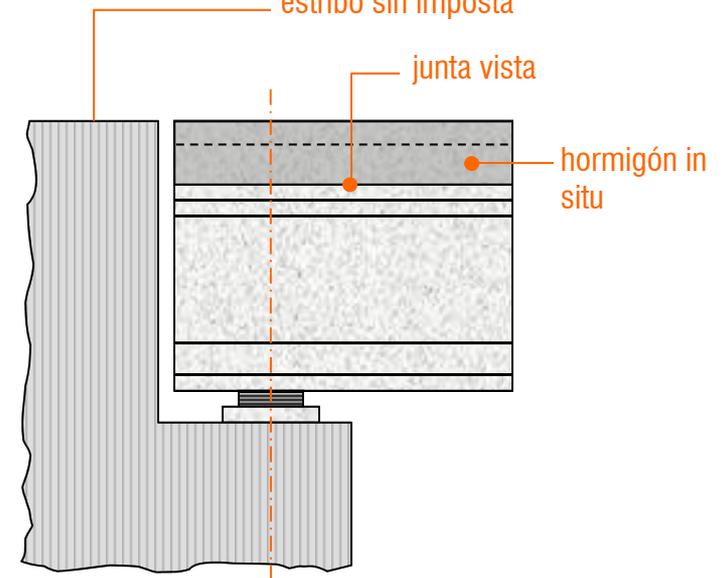
junta de hormigonado  
a la vista



estribo sin imposta

junta vista

hormigón in situ



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

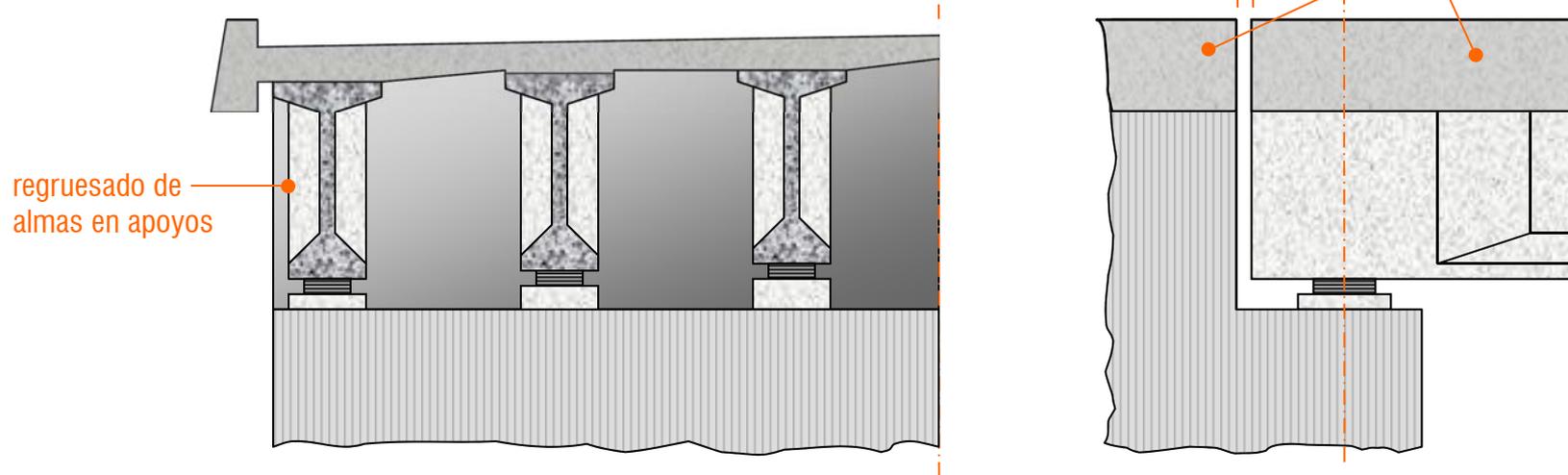


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Estribos cerrados simples: *aspectos arquitectónicos (tableros de vigas)*

(B) Solución mejorada, con *imposta corrida*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

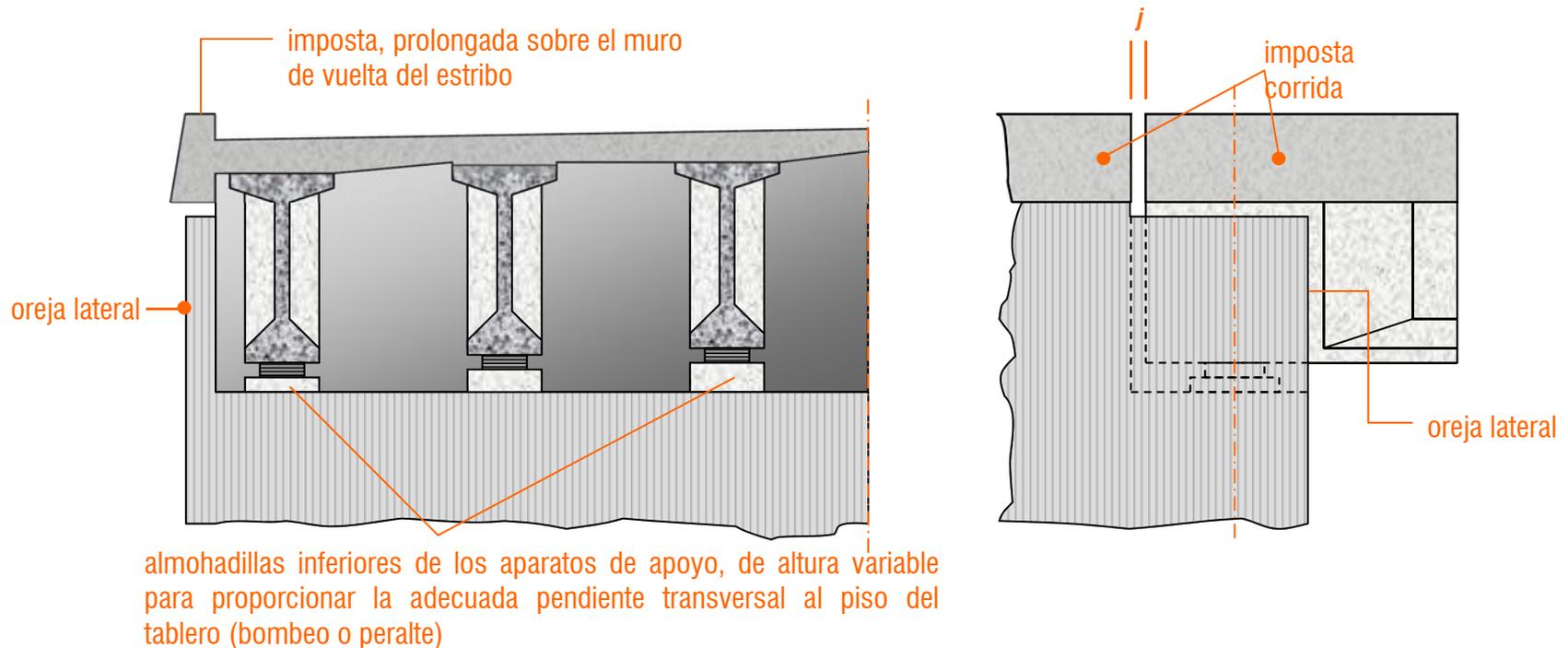


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Estribos cerrados simples: *aspectos arquitectónicos (tableros de vigas)*

(C) Solución recomendada, con **entronque mejor resuelto**



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

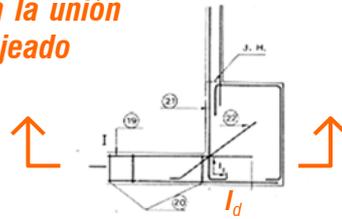


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

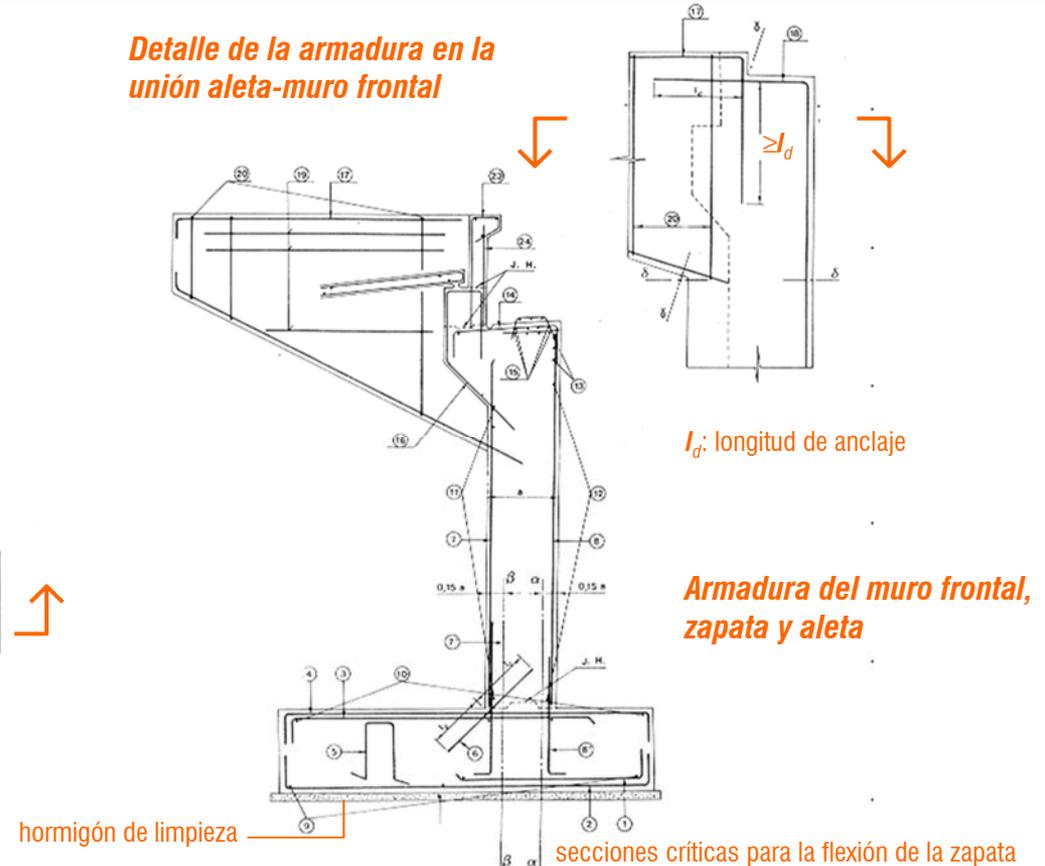
## 03 Diseño de subestructuras

□ Estribos cerrados simples: familias de armaduras

Detalle de la armadura en la unión aleta-muro frontal y del cajeadado



Detalle de la armadura en la unión aleta-muro frontal



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

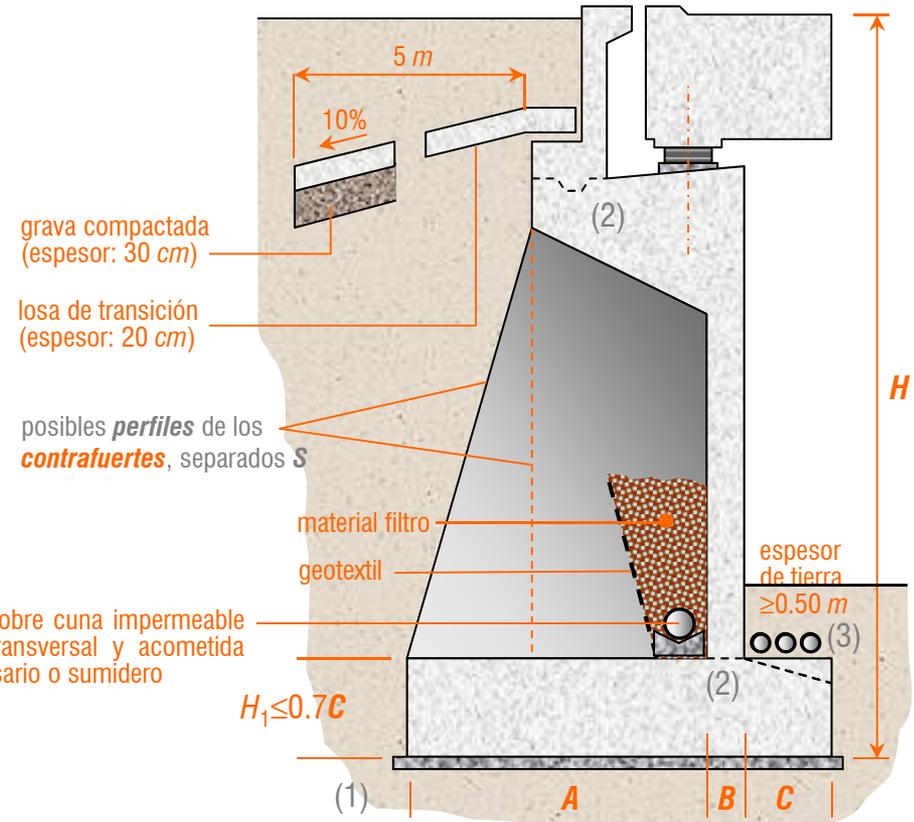
### □ Estribos cerrados con contrafuertes

- (1) Hormigón de limpieza
- (2) Juntas de hormigonado
- (3) Posibles canalizaciones enterradas
- *murete de guarda y apoyo del tablero:*  
*ver detalle de estribos cerrados simples*

$A+B+C$	$B^*$	$C$
$0.4H$ a $0.7H$	$S/15$ a $S/10$	$H/20$ a $H/4$

(\*) espesor  $B \geq 0.30 m$

*tubo drenante* sobre cuna impermeable con pendiente transversal y acometida registrable a emisario o sumidero

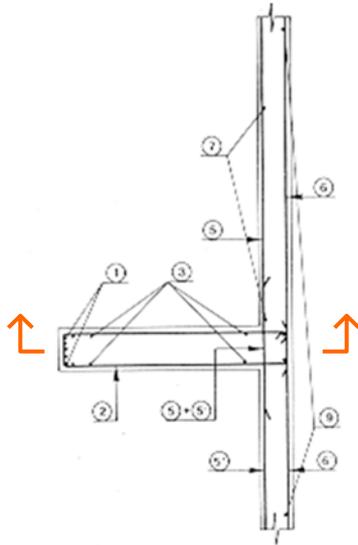


<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

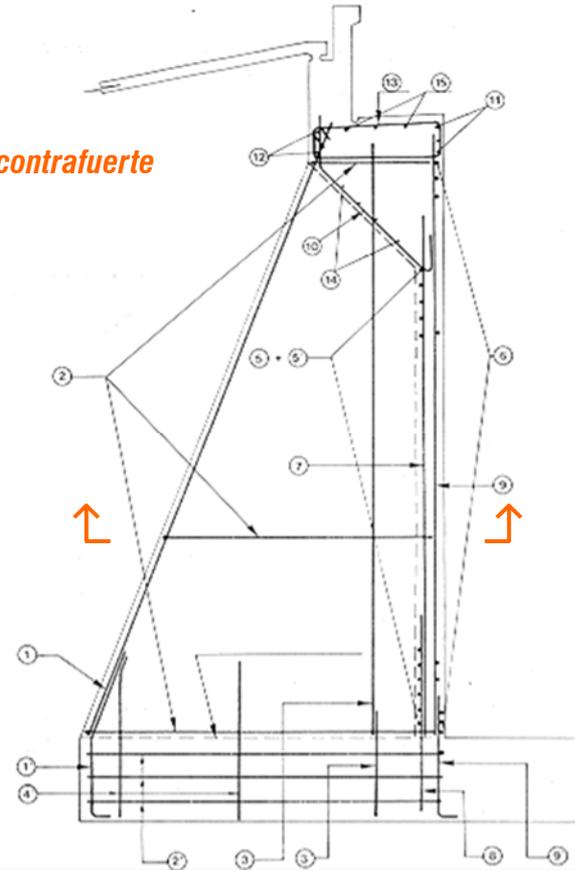
## 03 Diseño de subestructuras

□ Estribos cerrados con contrafuertes: familias de armaduras



Detalle de la armadura del  
contrafuerte y de la pantalla

Armadura general del contrafuerte  
y de la zapata<sup>o</sup>



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

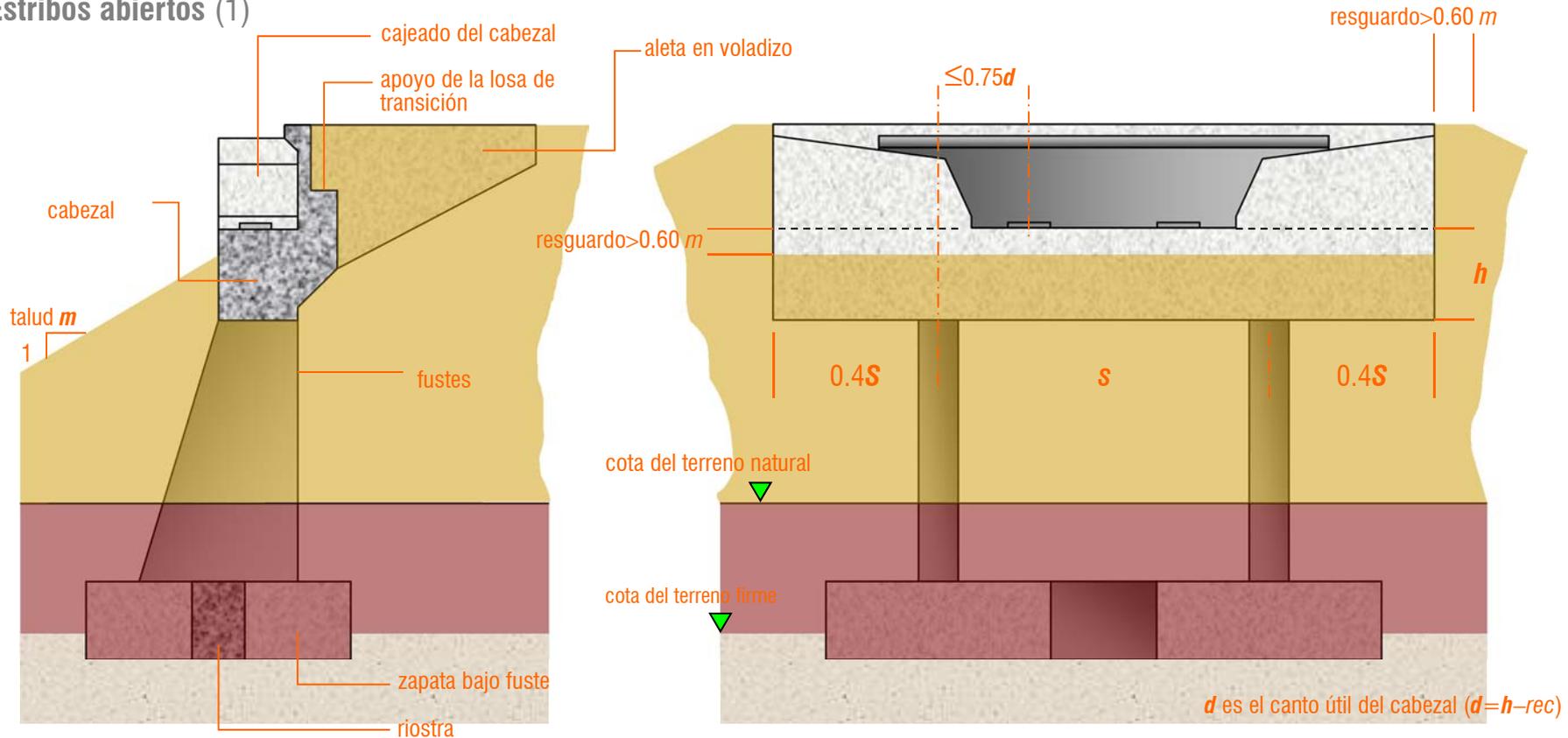
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Estribos abiertos (1)



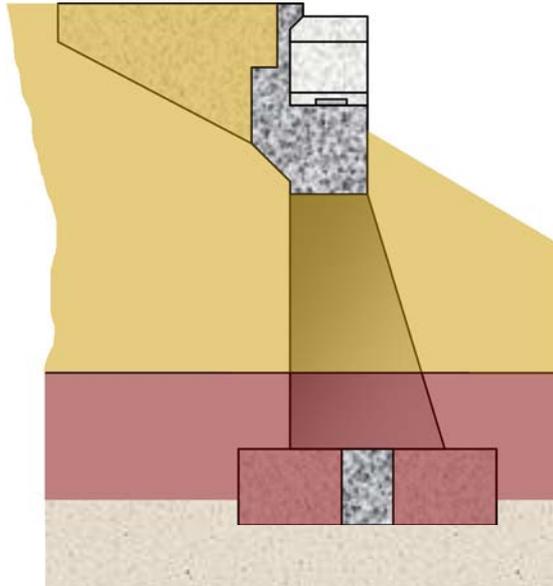
### <3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

### <3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



## 03 Diseño de subestructuras

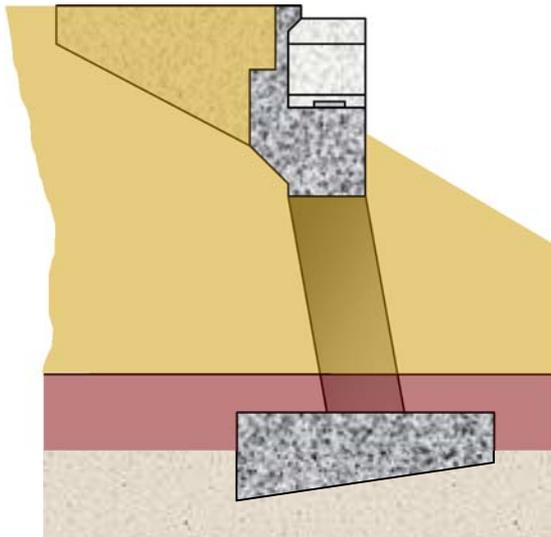
### □ Estribos abiertos (2)



□ Estribo abierto con fustes de canto variable y cimentación directa mediante zapatas independientes, atadas con una riostra

## 03 Diseño de subestructuras

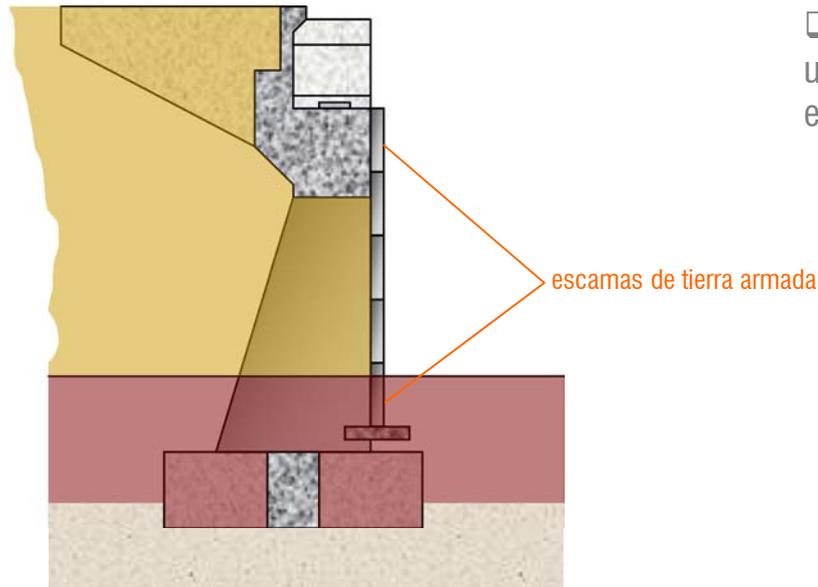
### □ Estribos abiertos (3)



□ Si la altura es moderada ( $\leq 6.0 m$ ), los fustes pueden diseñarse de canto constante. Si además el tablero es estrecho o el terreno poco competente, cabe disponer zapata única

## 03 Diseño de subestructuras

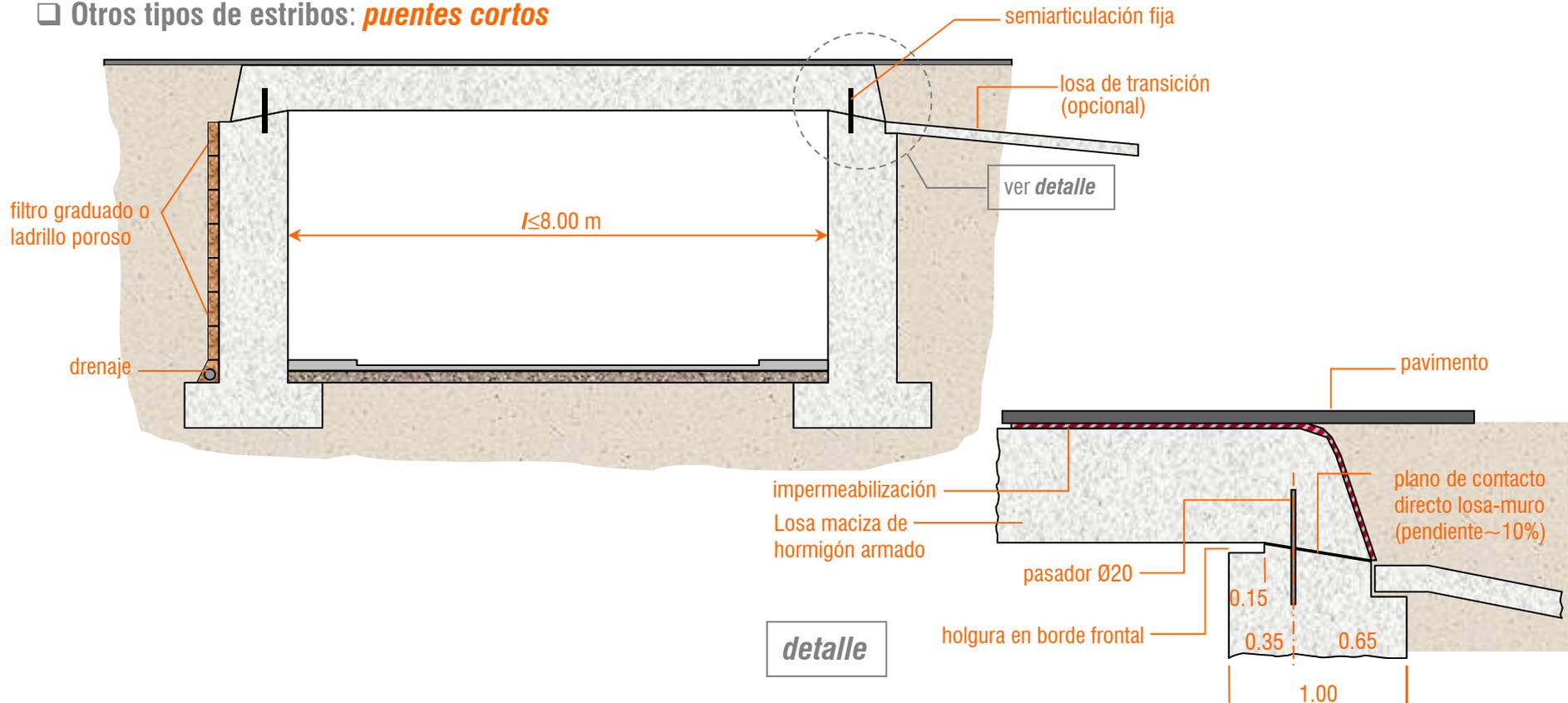
### □ Estribos abiertos (4)



□ Finalmente, el estribo abierto puede combinarse con una **contención de tierra armada**, evitando de ese modo el derrame de tierras mediante elementos prefabricados

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Otros tipos de estribos: *puentes cortos*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

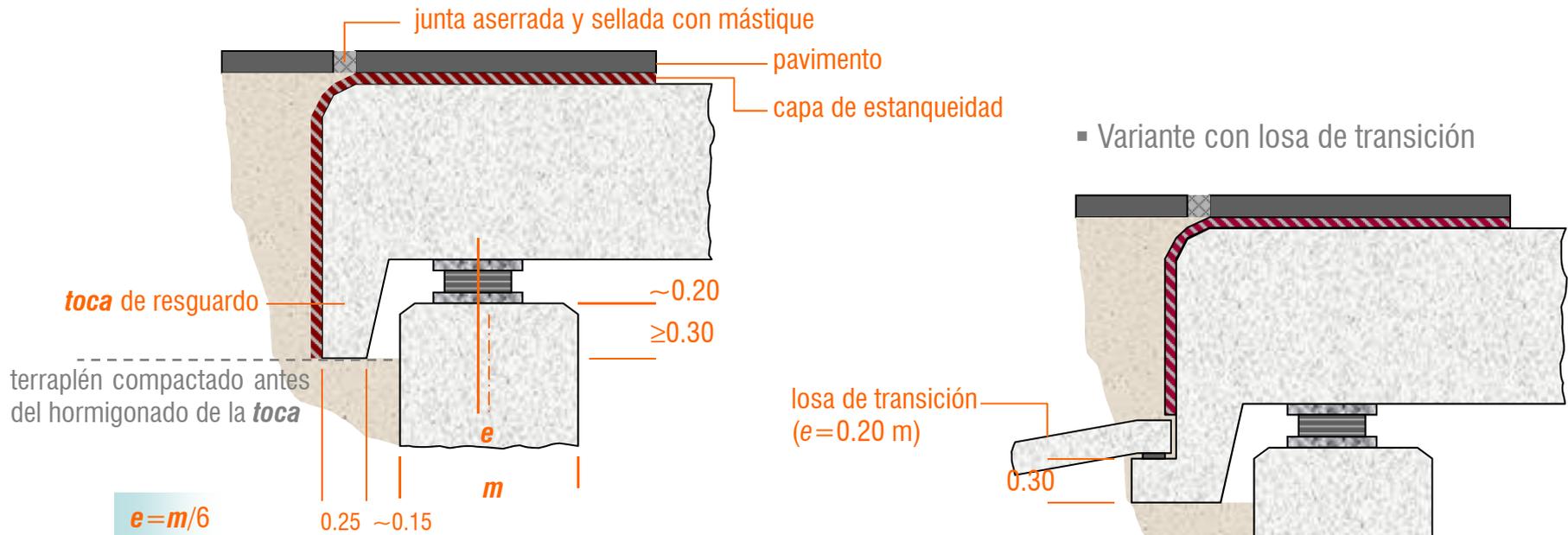
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **puentes cortos**, si los movimientos del tablero son pequeños (vanos cortos), se puede suprimir el murete de guarda y reducir la junta de calzada a un simple sellado

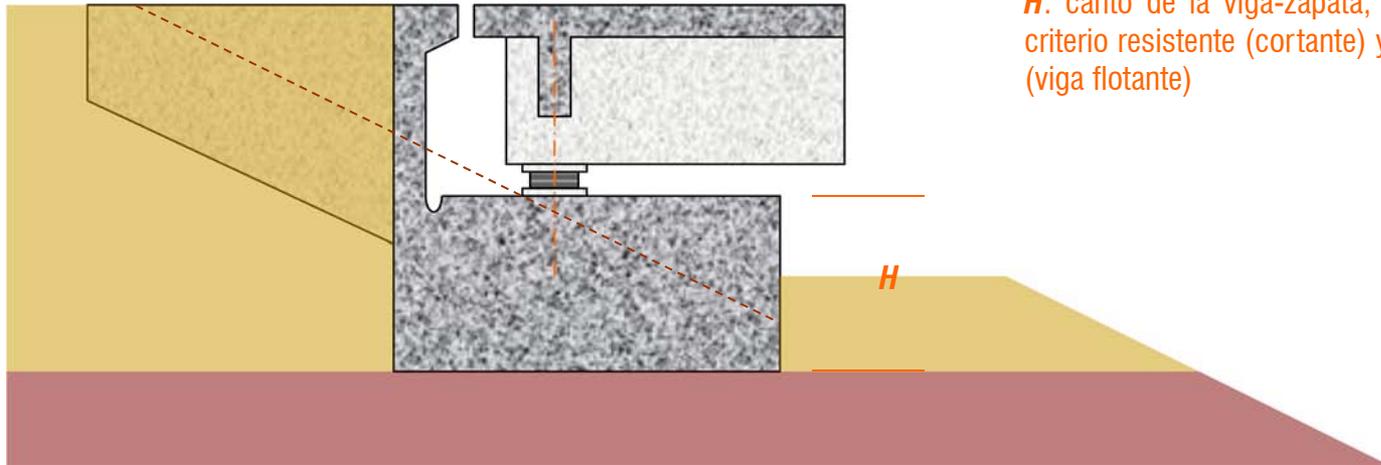


<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **estribos flotantes**, cuando se cimienta el apoyo del tablero directamente sobre el terraplén ( $\delta \uparrow$  ... se adapta bien a *vanos isostáticos*)



$H$ : canto de la viga-zapata, se fija por criterio resistente (cortante) y de rigidez (viga flotante)

<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

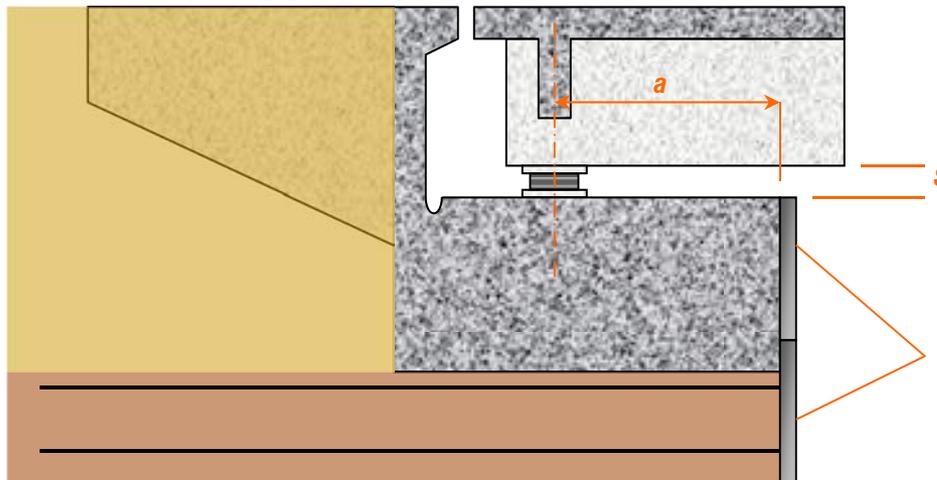
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Otros tipos de estribos: **estribos flotantes**, variante con *Tierra Armada*



**s** debe ser suficiente para permitir las deformaciones del tablero debidas a las acciones variables (tren de cargas...pensar en  $a \times \theta_y$ )

muro de **escamas** ancladas al terraplén

<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

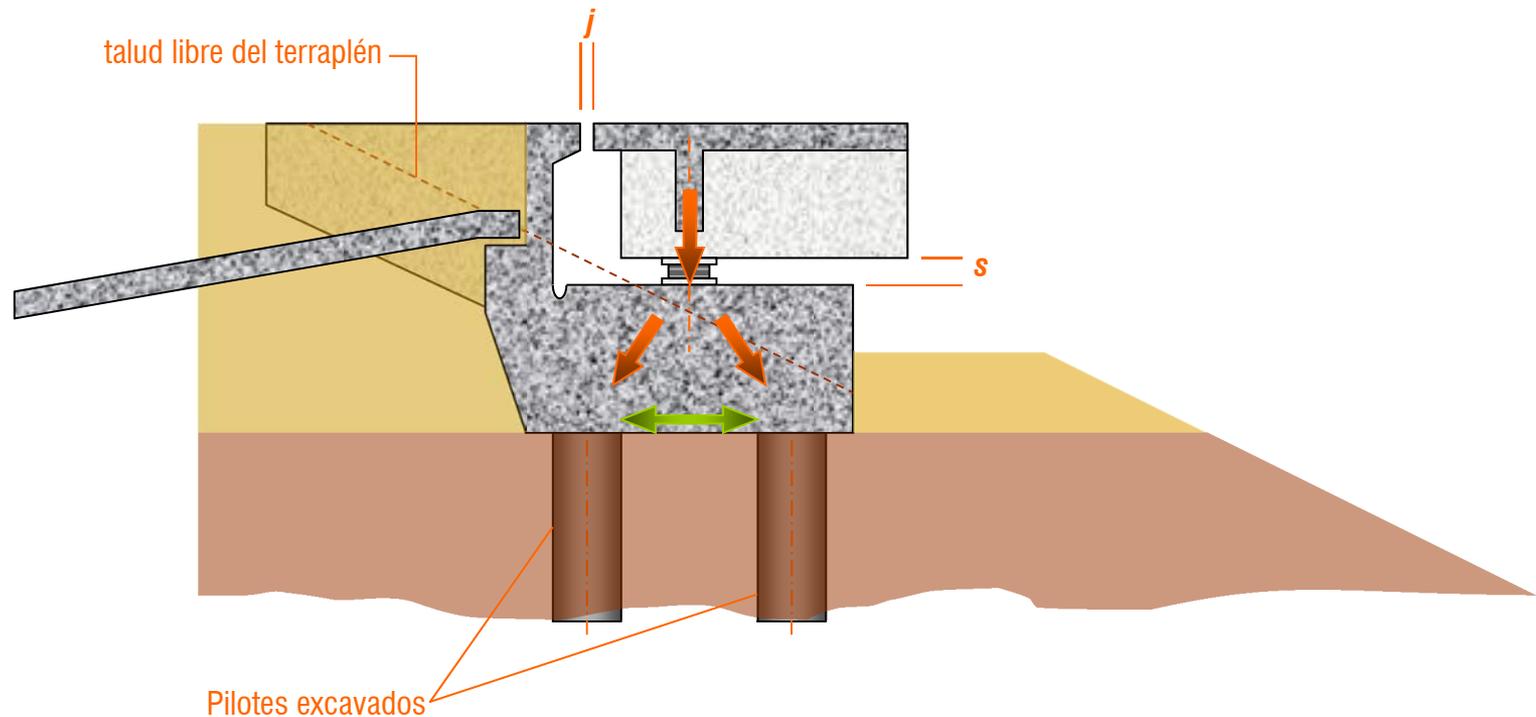
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Otros tipos de estribos: si los *vanos son continuos* se puede pilotar la viga-zapata en el terraplén, pero *ya no se trata de un estribo flotante*



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

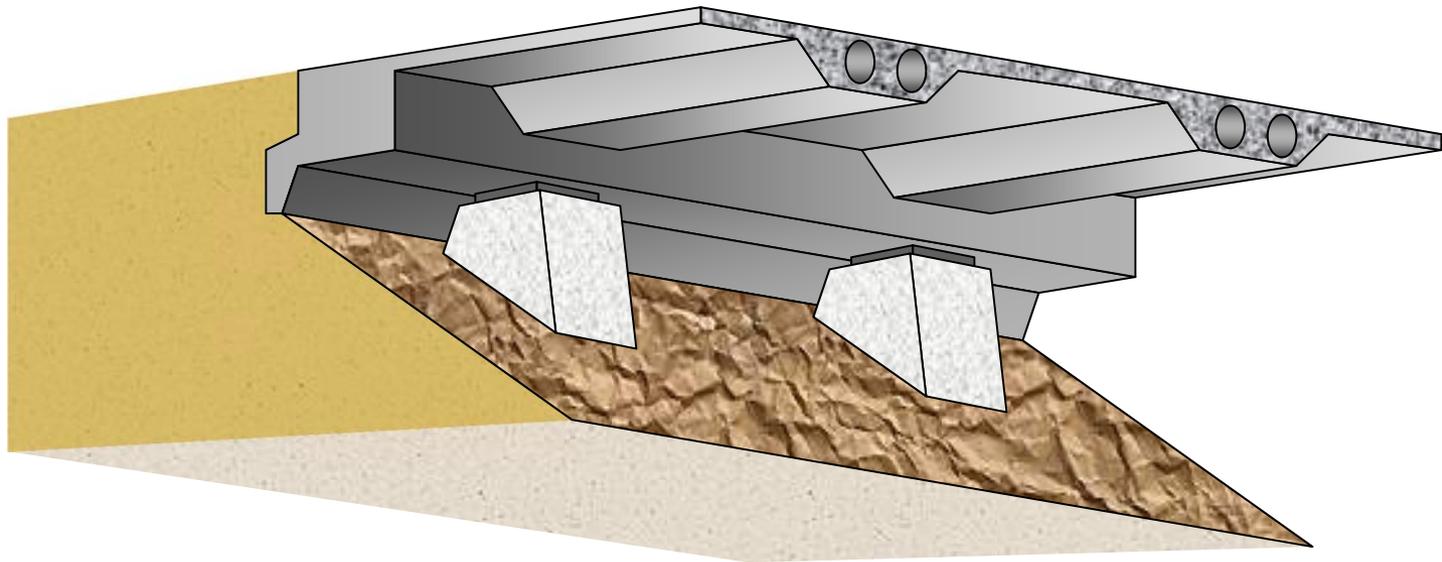
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Otros tipos de estribos: *estribo abierto sin cabezal*, perspectiva



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

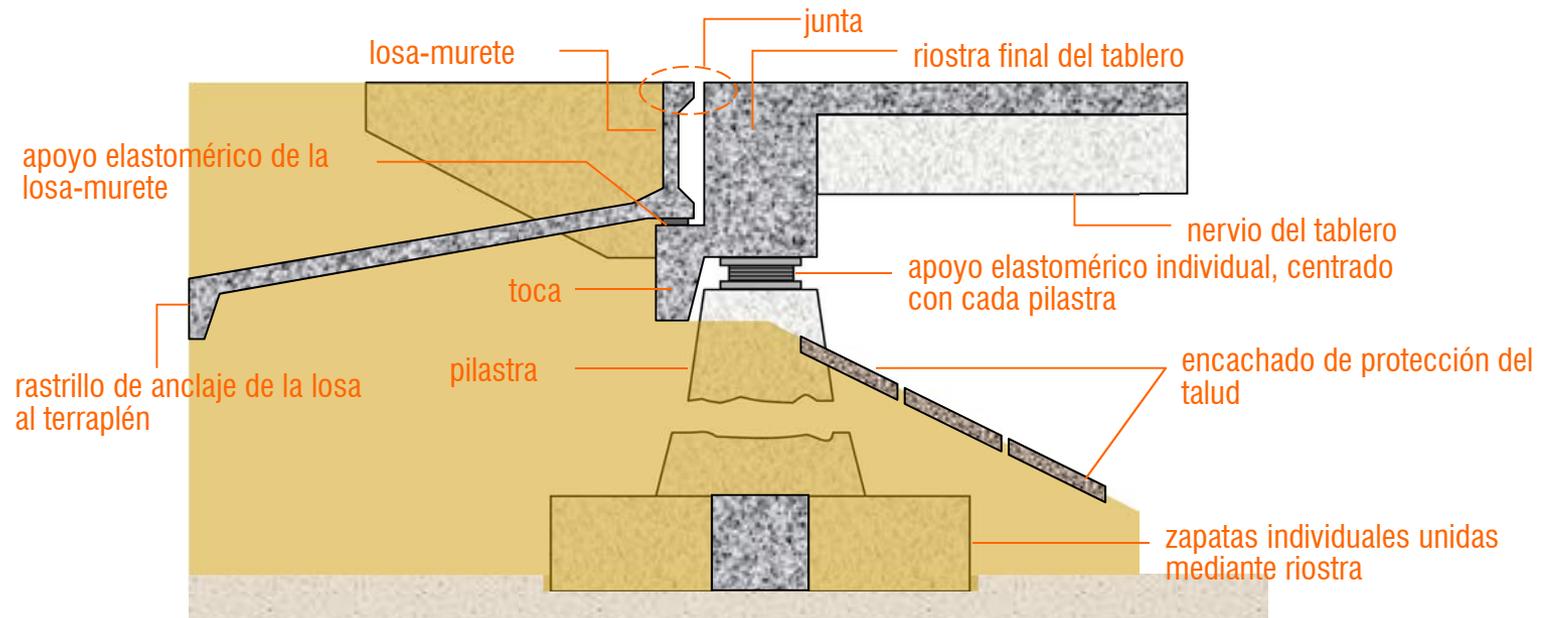
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **estribo abierto sin cabezal**, sección longitudinal



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

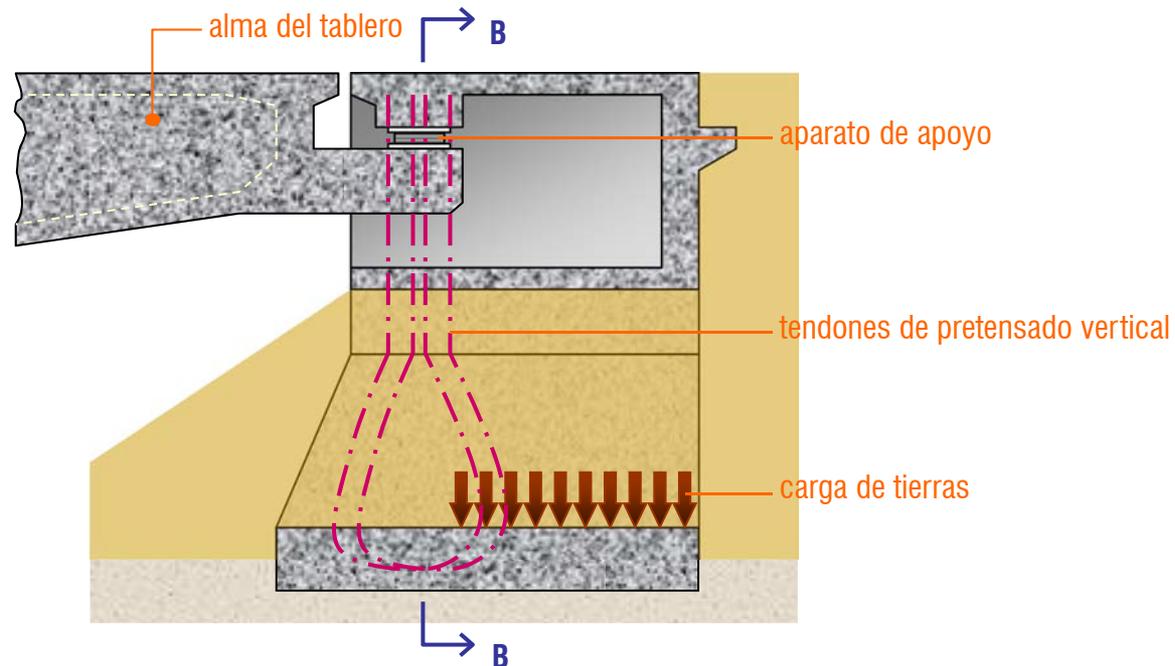
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **estribos compensados abiertos**, sección longitudinal. En *puentes continuos*, cuando el primer vano resulta **corto**, el tablero puede **levantar** el estribo, requiriendo entonces dispositivos especiales de **anclaje** y **lastre**



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

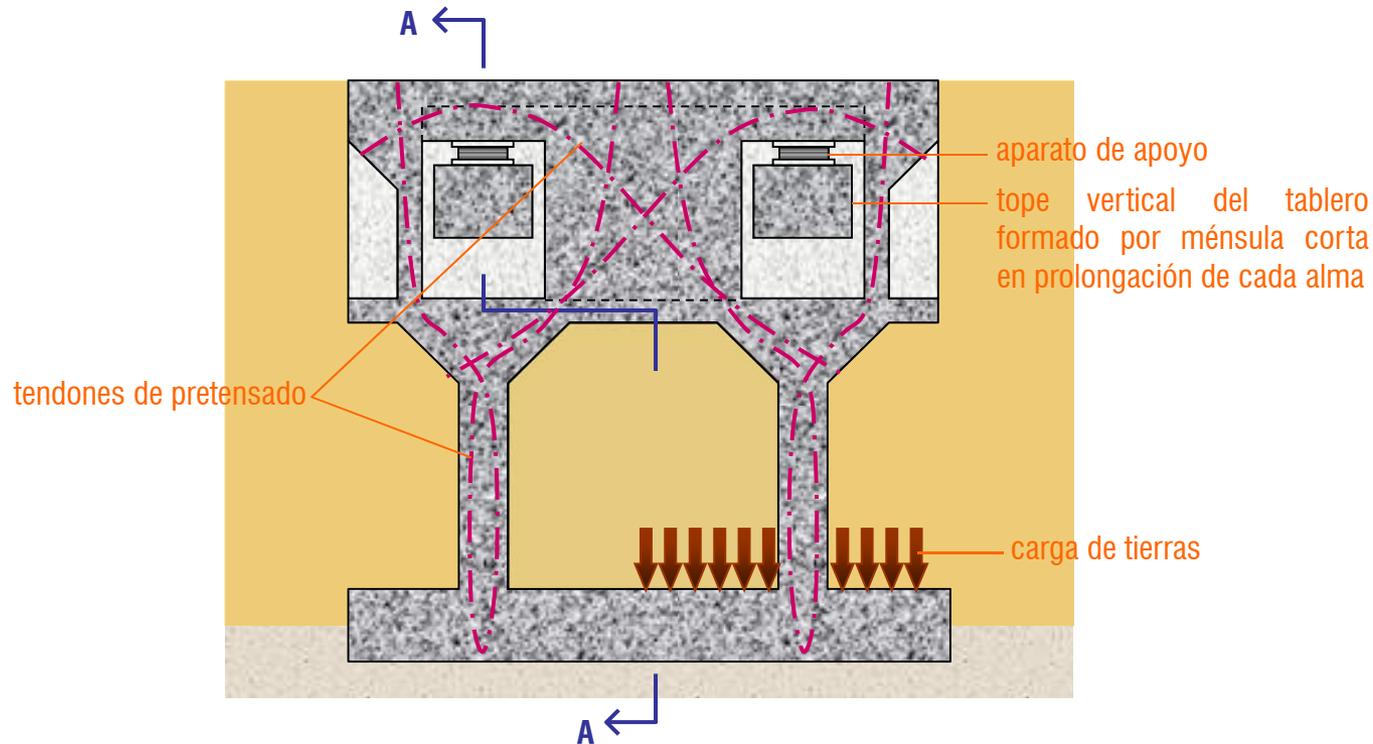
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: *estribos compensados abiertos*, sección transversal



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

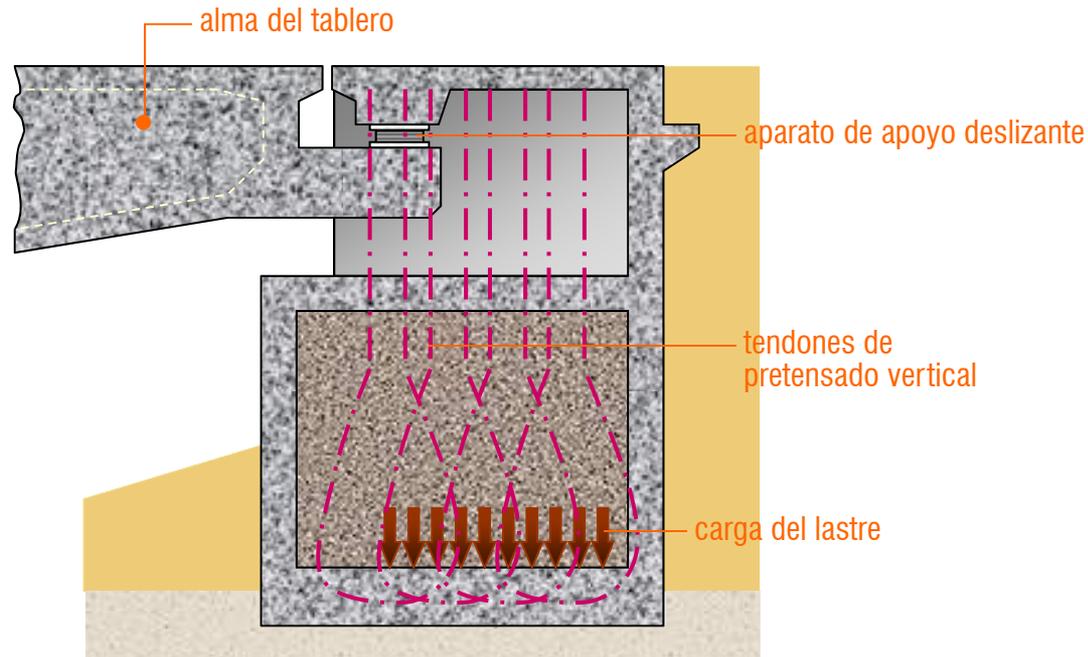
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **estribos compensados cerrados**, sección longitudinal. En este otro caso, el estribo se rellena de grava, transmitiendo el tirón vertical de la reacción del tablero a través de las paredes laterales del **cajón**

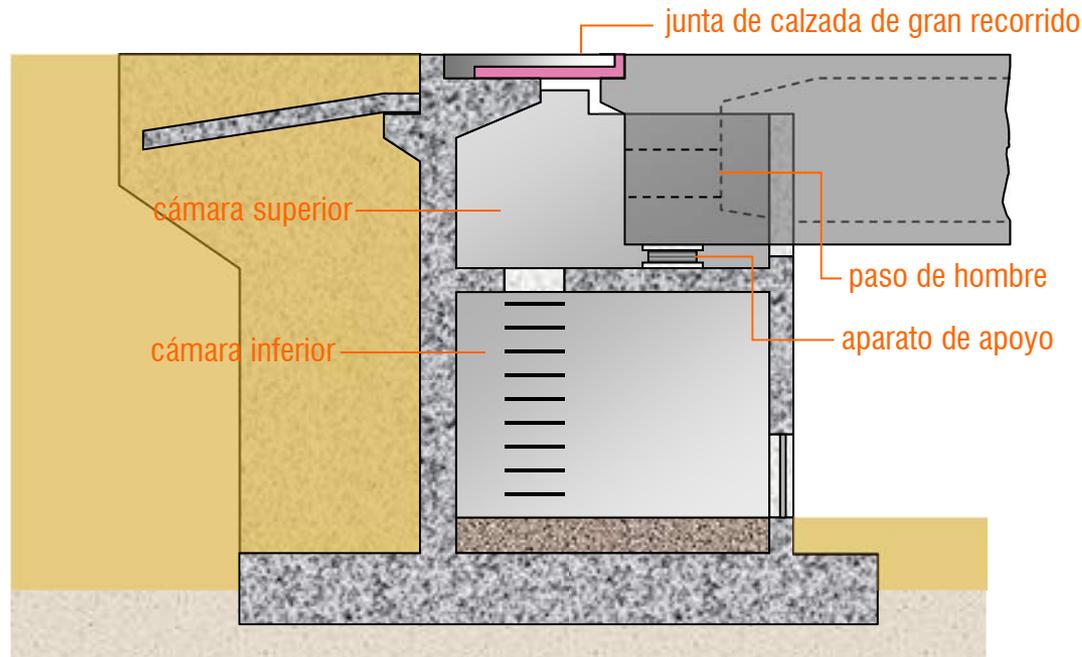


<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **estribos para puentes de gran luz**, sección longitudinal. Cuando el tamaño de la junta de calzada es importante, conviene reducir el espesor del muro frontal, diseñando un estribo hueco. Esta disposición permite además organizar de forma sencilla el acceso al interior del tablero, que suele ser en estos casos visitable



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

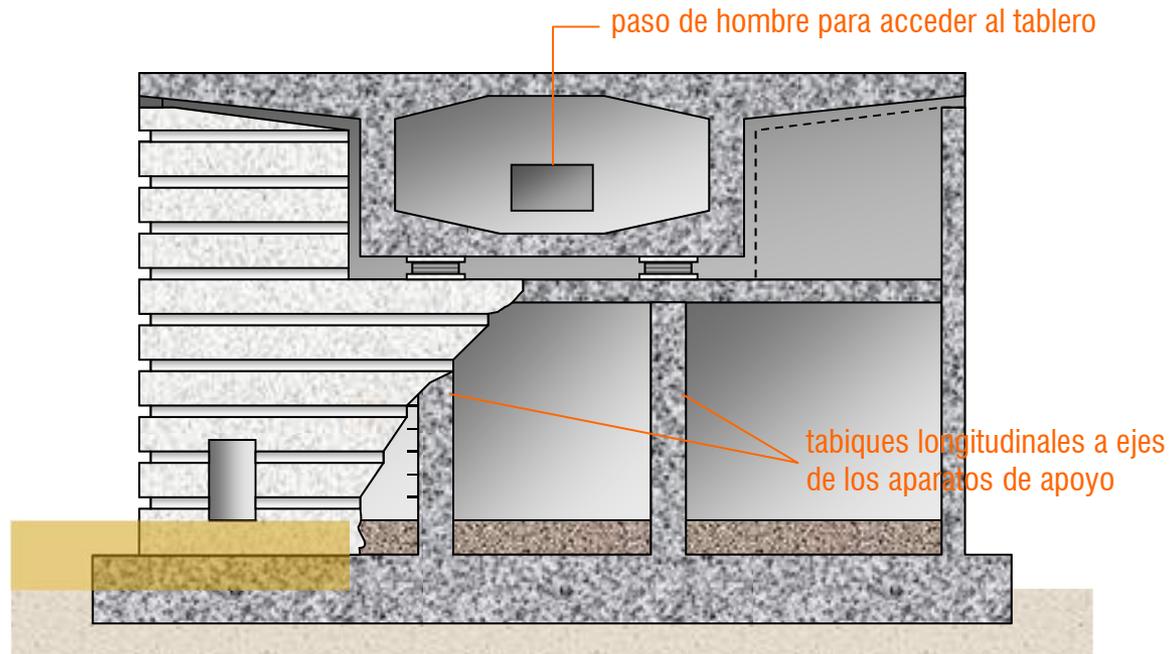
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Otros tipos de estribos: **estribos para puentes de gran luz**, sección transversal. Con esta morfología, conviene disponer tabiques en sentido longitudinal, para recoger convenientemente las **reacciones** del tablero



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Un ejemplo: *estribos de un puente arco* con tablero superior apoyado sobre columnas de gran esbeltez



estribo del tablero

<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

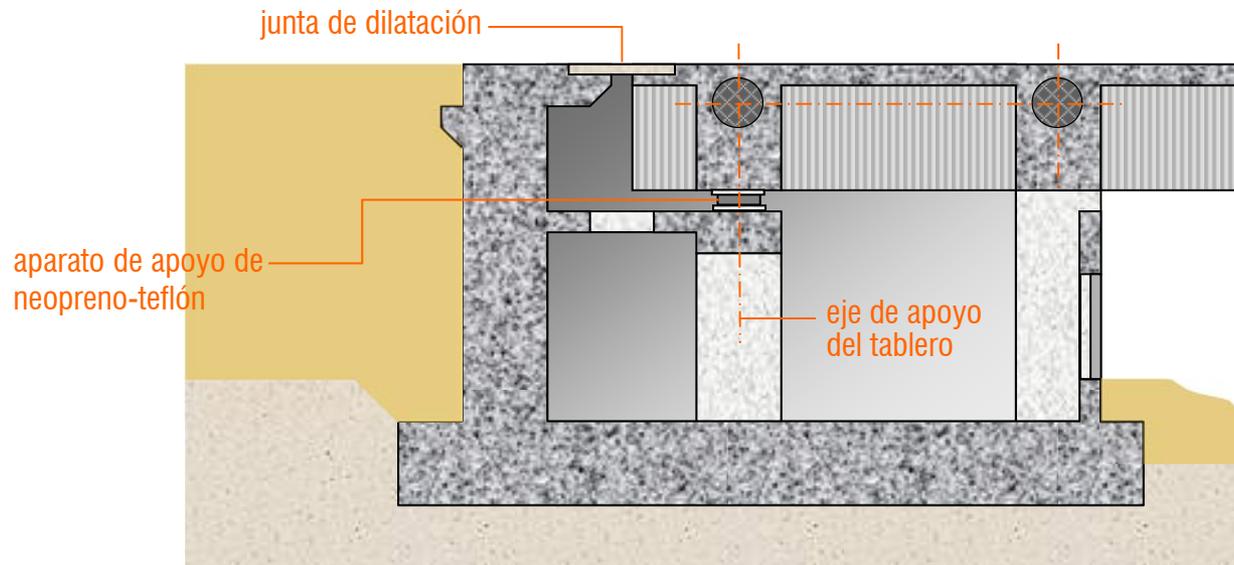
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Un ejemplo: *estribos de un puente arco*, sección longitudinal



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

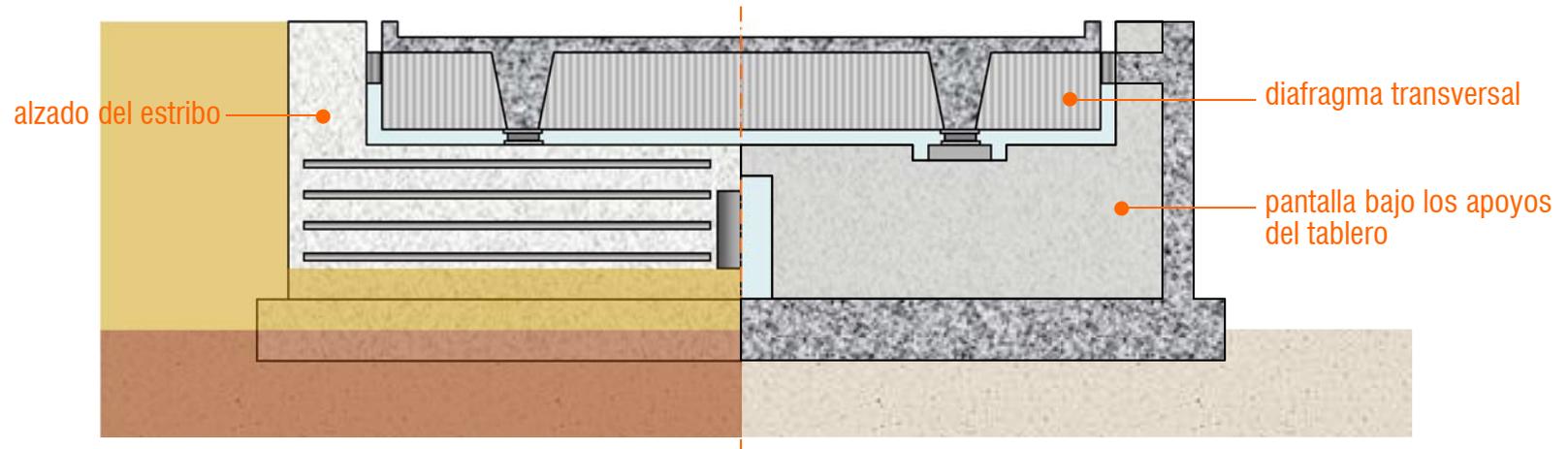
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Un ejemplo: *estribos de un puente arco*, semi-sección transversal



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

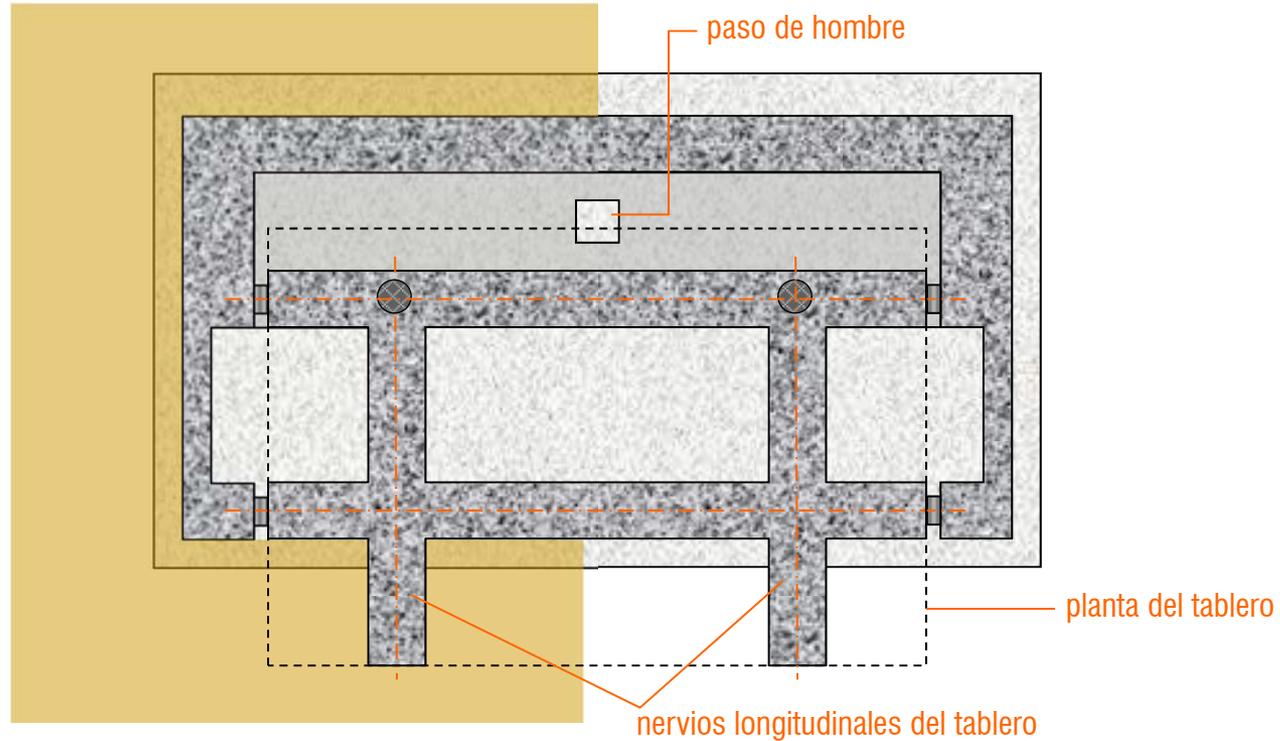
<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ Un ejemplo: *estribos de un puente arco*, sección horizontal



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



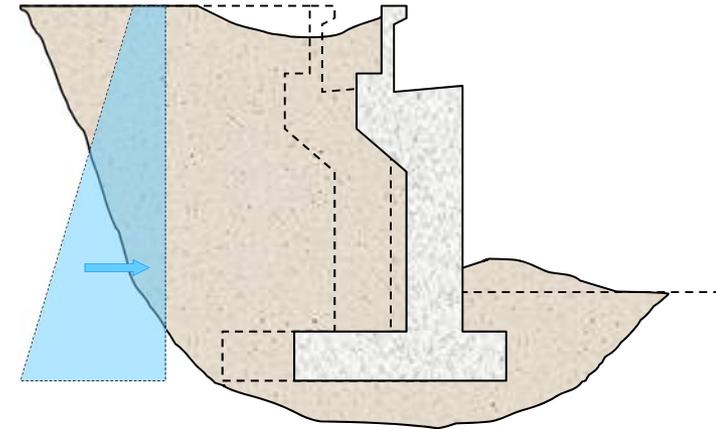
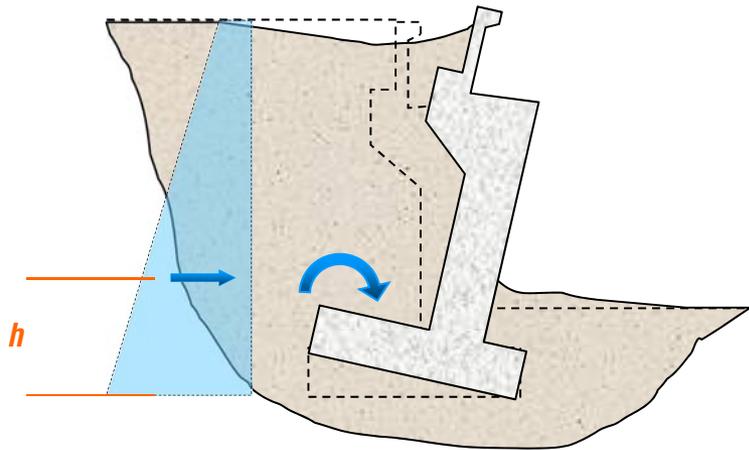
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Estados límite a verificar

(1) Verificación de los ELUs de equilibrio

a) Seguridad frente al deslizamiento



b) Seguridad frente al vuelco

<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



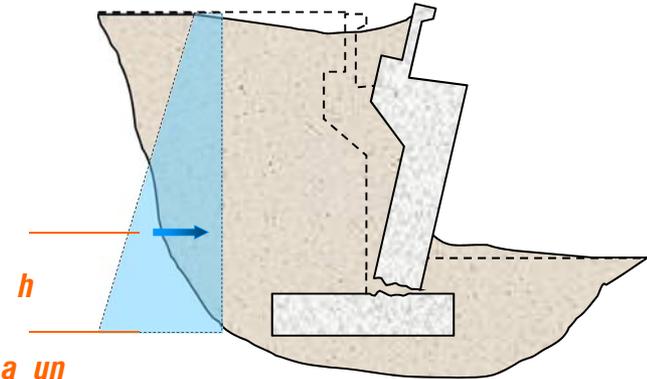
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Estados límite a verificar

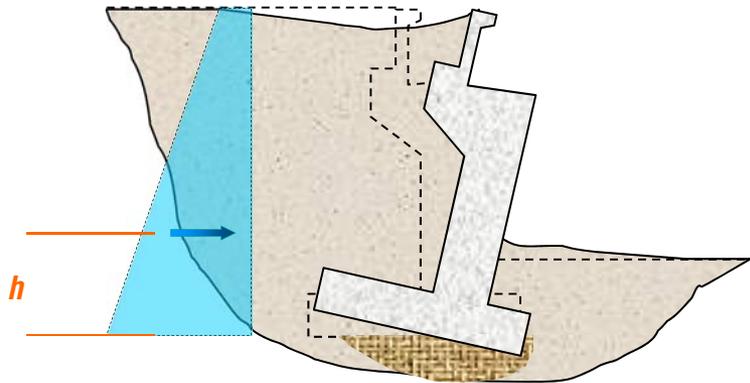
(2) Verificación de los ELUs de rotura

c) Seguridad frente al fallo estructural

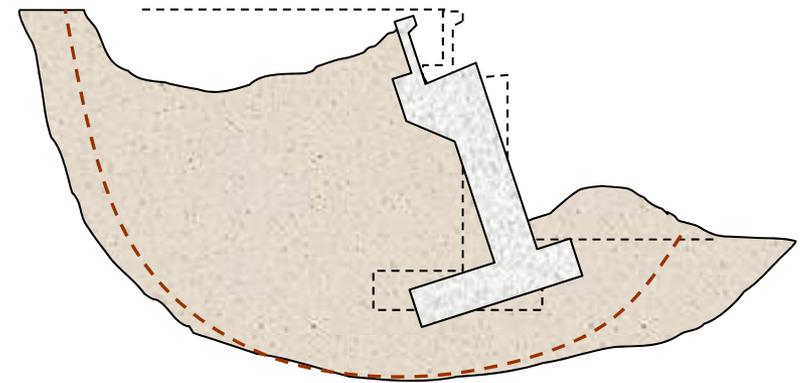


(3) Verificación de los ELS

d) Seguridad frente a la plastificación del terreno



e) Seguridad frente a un deslizamiento profundo



<3.1.3 Morfología y proyecto de estribos>

<3.1 CONCEPCIÓN DE ESTRIBOS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### ❑ DISPOSICIÓN DE APOYOS Y DESCONEXIONES

En un puente continuo, los desplazamientos originados por las acciones pueden estar **localmente**:

- 1) **Selectivamente coartados por los apoyos**, induciéndose un sistema de **coacciones** en general elásticas. Globalmente, siempre se debe coaccionar el movimiento de sólido rígido (6 GDLs)
- 2) **Desconectados mediante juntas de dilatación...** produciéndose a efectos prácticos una discontinuidad de los movimientos en el plano

### ❑ LA SELECCIÓN DEL ESTADO DE COACCIÓN debe proporcionar:

- 1) **Al tablero**, las reacciones necesarias para **equilibrar** (estricta o sobreabundantemente) y **resistir económicamente** las acciones exteriores
- 2) **A las pilas**, cargas lo más centradas posible. Tan solo las pilas muy esbeltas son indiferentes a la transmisión de flexiones **tablero-subestructuras**

## 03 Diseño de subestructuras

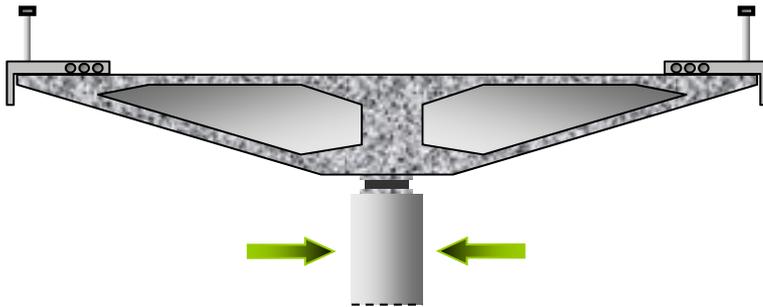
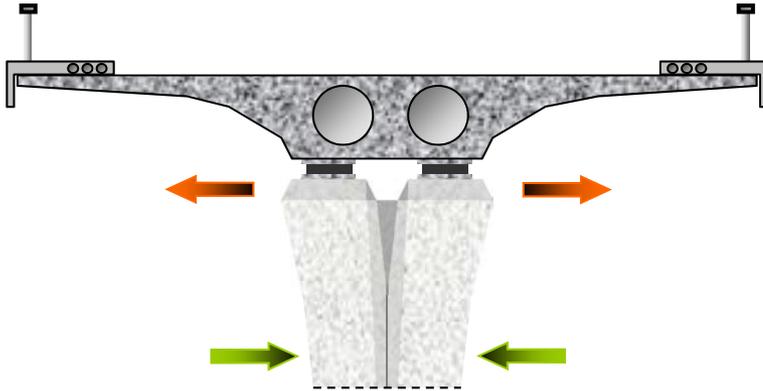
- ❑ El diseño debe proporcionar la **mayor comunión** posible entre tablero y pilas, atendiendo a los aspectos:
  - (1) ESTRUCTURALES, proporcionando las condiciones de apoyo requeridas por el **equilibrio global** del tablero, así como el adecuado **control de esfuerzos** en el mismo
  - (2) CONSTRUCTIVOS, siendo el proceso constructivo del tablero un **factor determinante del tipo de pila**
  - (3) FORMALES, buscando siempre la coherencia estética del conjunto
  
- ❑ **Parámetros** generales de diseño:
  - A. LIGADOS A LA MORFOLOGÍA DEL TABLERO  
**sección transversal y geometría en planta**
  - B. LIGADOS AL EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA  
**altura de las pilas y factores hidráulicos**
  - C. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TABLERO

### <3.2.1 Características generales de las pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras



- Condiciones de apoyo requeridas por el *equilibrio global* del tablero: deseable reducir torsiones y flexiones transversales para un adecuado *control de esfuerzos* en el mismo → pila de **cabeza ancha** y **desdoblamiento de apoyos**

- La *circulación bajo tablero* y una *altura de pilas reducida* (caso típico de los pasos superiores) pueden no permitir el diseño anterior
- En ese caso tanto el *equilibrio global* como el *control de torsiones* requiere **tableros eficientes y coacción en estribos**

<3.2.1 Características generales de las pilas>

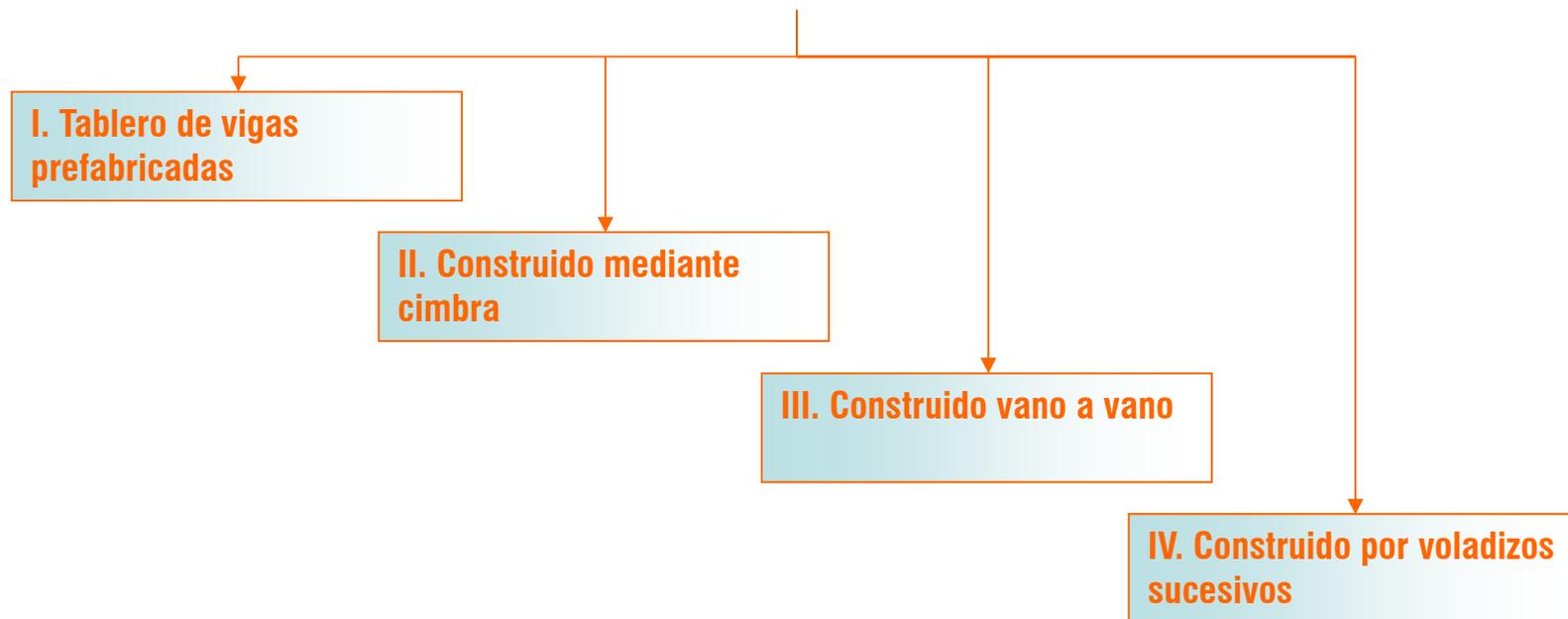
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Por lo tanto, se da lugar a un proceso conceptual simultáneo al del dintel, esencialmente determinado por el *proceso constructivo* y la *morfología del tablero*, que expondremos atendiendo a la organización siguiente



<3.2.1 Características generales de las pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

## □ Reacciones del tablero (I)

$Q_z$	peso propio	$G$
	carga muerta	$G$
	pretensado hiperestático	$G^*$
	asientos	$G^*$
	tren de cargas vertical	$Q$
	viento vertical	$Q$
	temperaturas ( $\Delta\theta$ )	$Q$
	sismo vertical	$A$
$Q_{x,y}$	pretensado y reología	$G^*$
	tren de cargas horizontal (x,y)	$Q$
	viento transversal y longitudinal	$Q$
	temperaturas ( $\Delta T$ )	$Q$
	impacto	$A$
	sismo horizontal (x,y)	$A$

(salvo que  $Q_x=0$  por desconexión en el apoyo)



## &lt;3.2.2 Acciones sobre pilas&gt;

## &lt;3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS&gt;



## 03 Diseño de subestructuras

### □ Reacciones del tablero (II)

$M_y$	peso propio	$G$
	carga muerta	$G$
	pretensado y reología	$G^*$
	asientos	$G^*$
	tren de cargas vertical	$Q$
	viento vertical y longitudinal	$Q$
	temperaturas ( $\Delta T, \Delta \theta$ )	$Q$
sismo vertical y longitudinal	$A$	
$M_{x,z}$	tren de cargas horizontal	$Q$
	viento transversal y vuelco	$Q$
	impacto	$A$
	sismo transversal	$A$

(salvo que  $M_y=0$  por desconexión en el apoyo. Idem para  $M_{x,z}$  si se liberan los correspondientes desplazamientos)



### <3.2.2 Acciones sobre pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

### □ Acciones sobre la pila

repartidas

$q_z$	peso propio sismo vertical	$G$ $A$
$q_{x,y}$	viento horizontal empuje hidrostático sismo horizontal	$Q$ $Q$ $A$

concentradas

$Q_z$	pretensado	$G^*$
$Q_{x,y}$	impactos	$A$



<3.2.2 Acciones sobre pilas>

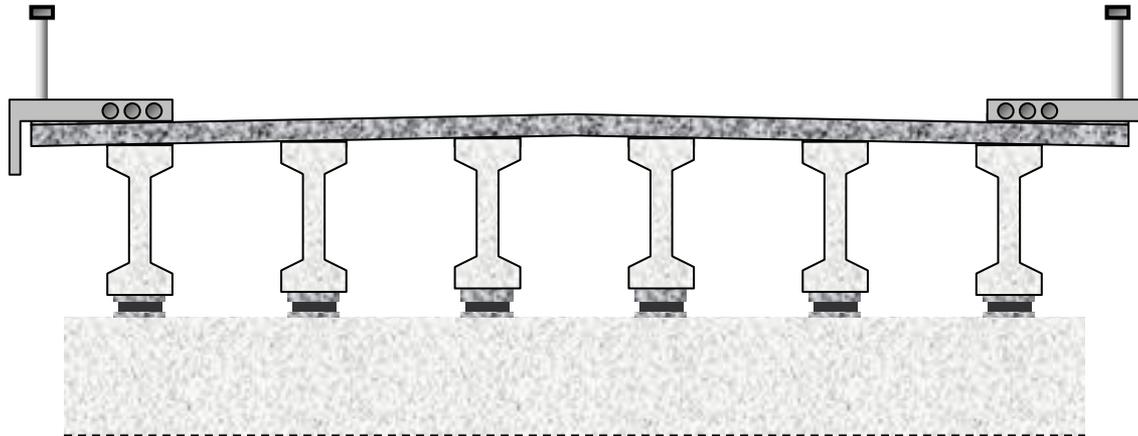
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- ❑ En *pilas de tableros de vigas*, todas las variantes parten de la **materialización de las líneas de apoyo de cada una de ellas**, luego requieren una anchura  $B$  en cabeza de pila similar a la del tablero
- ❑ Criterio de evolución formal: **máxima transparencia** ❑ (a) *Pila pantalla: opaca, simple*



### I. PILAS DE TABLEROS DE VIGAS PREFABRICADAS

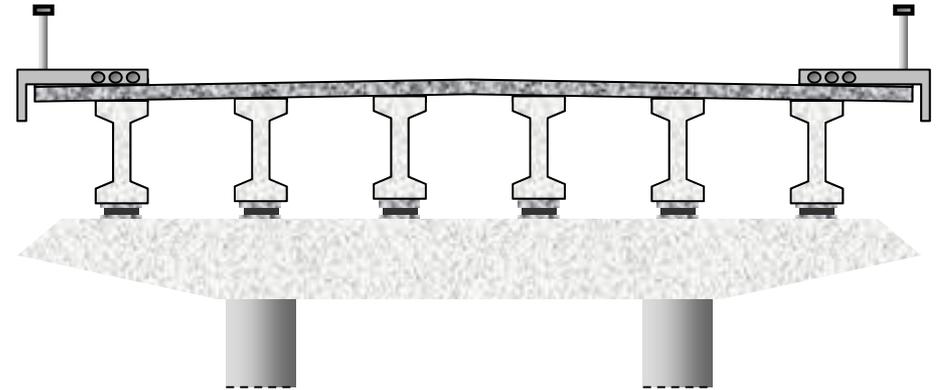
#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

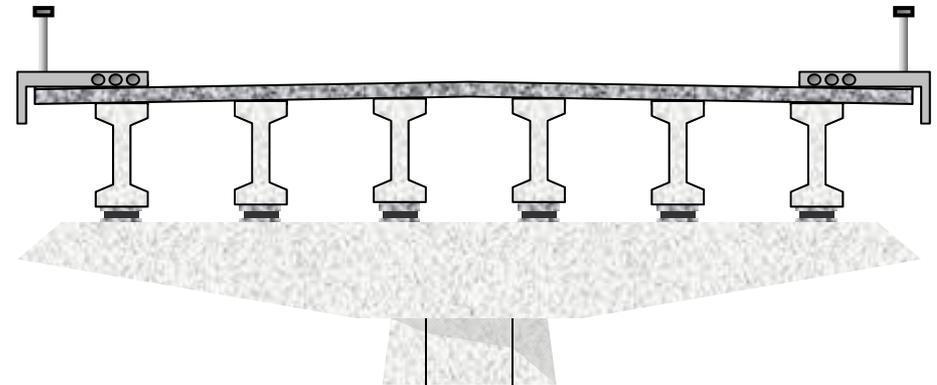


## 03 Diseño de subestructuras

(b) *Pila porticada: cargadero y pilares*



(c) *Pila en cabeza de martillo: cargadero más solicitado y un único soporte central, más diáfano*



### I. PILAS DE TABLEROS DE VIGAS PREFABRICADAS

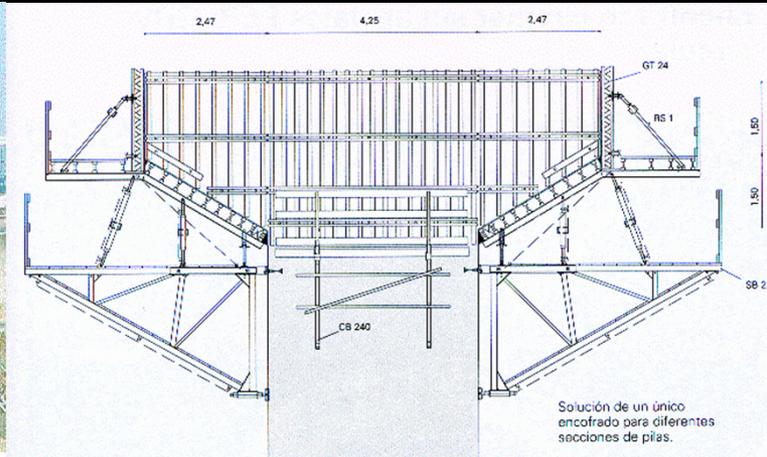
<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



□ Ejecución de una pila en cabeza de martillo: fustes rectangulares y dintel de canto variable (sistema PERI TRIO para las pilas y VARIO en el dintel)

### I. PILAS DE TABLEROS DE VIGAS PREFABRICADAS

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

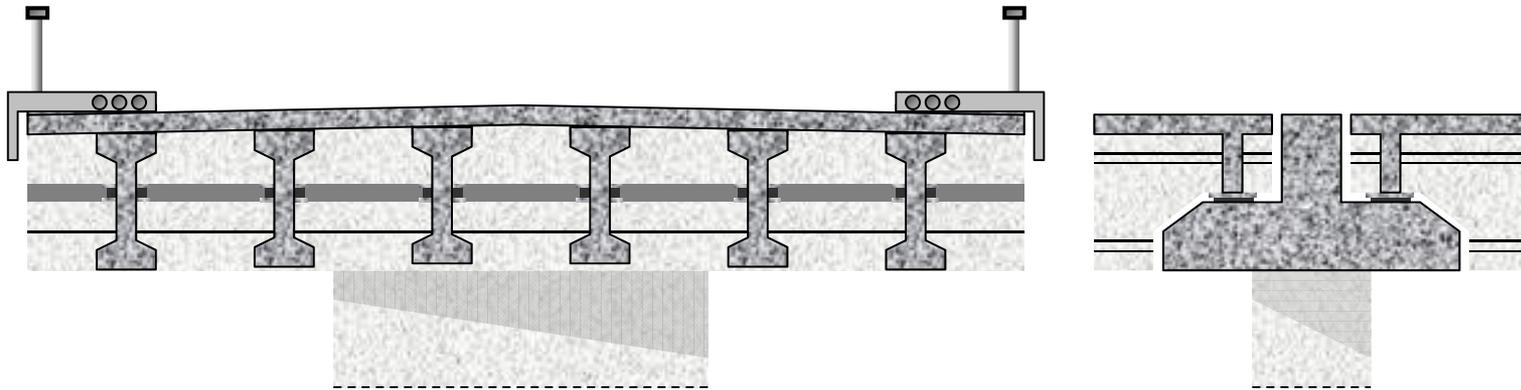
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

(d) Pila en cabeza de martillo con cargadero disimulado dentro del canto del tablero



- ❑ Esta solución es una evolución del caso (c) anterior, buscando reducir el volumen aparente de la zona de apoyo. Tiene el inconveniente de **duplicar juntas**

### I. PILAS DE TABLEROS DE VIGAS PREFABRICADAS

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

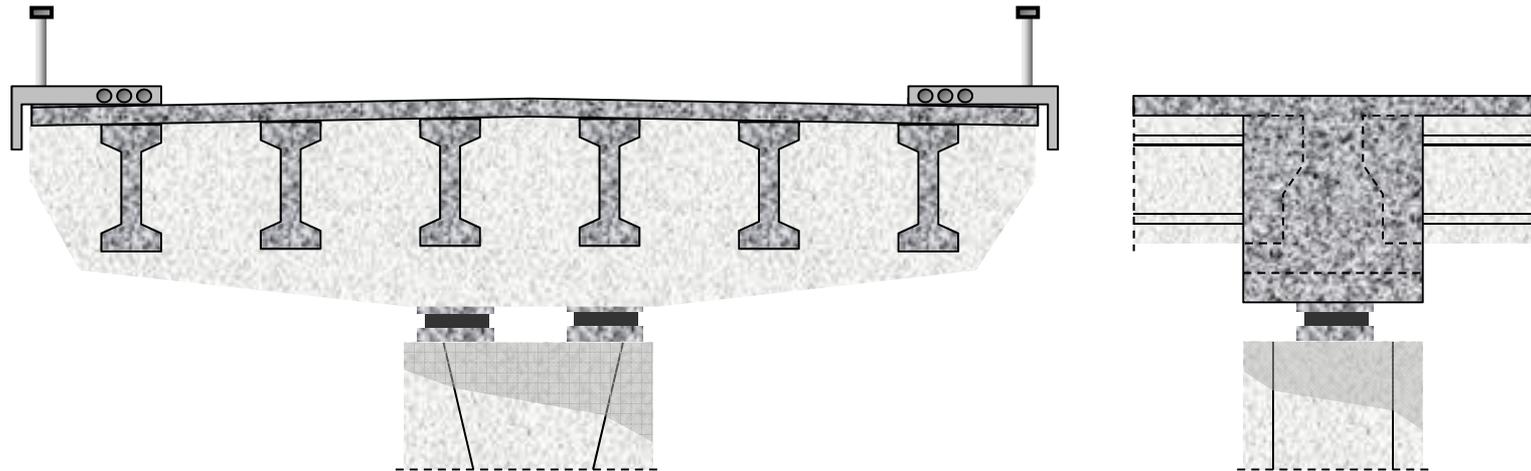
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

(e) *Falsa cabeza de martillo: soluciona la reducción del número de apoyos con un tablero de vigas*



- ❑ Esta opción evidencia que la transición hacia la máxima transparencia del apoyo requiere **continuidad** del tablero, longitudinal y transversal

### I. PILAS DE TABLEROS DE VIGAS PREFABRICADAS

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

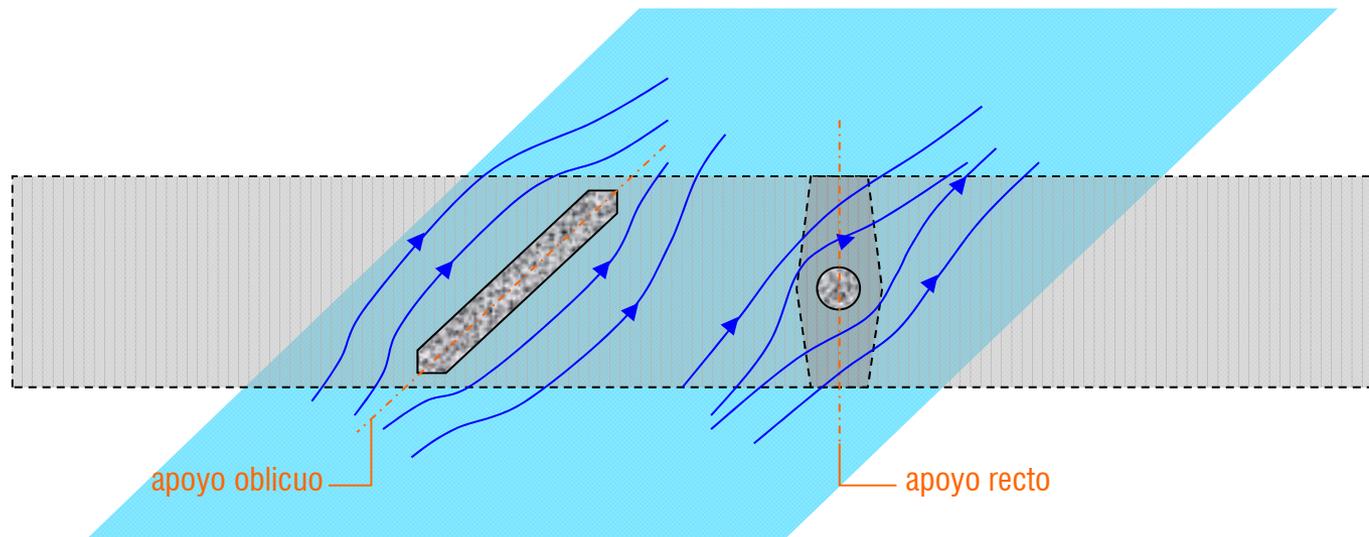
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Paso de ríos: la pila debe **orientarse** con la corriente si tiene forma de pantalla, con lo que puede resultar una **planta oblicua**. En cambio, si se opta por un diseño en cabeza de martillo, puede preservarse el **apoyo recto** (esta idea puede extenderse a los pasos superiores)



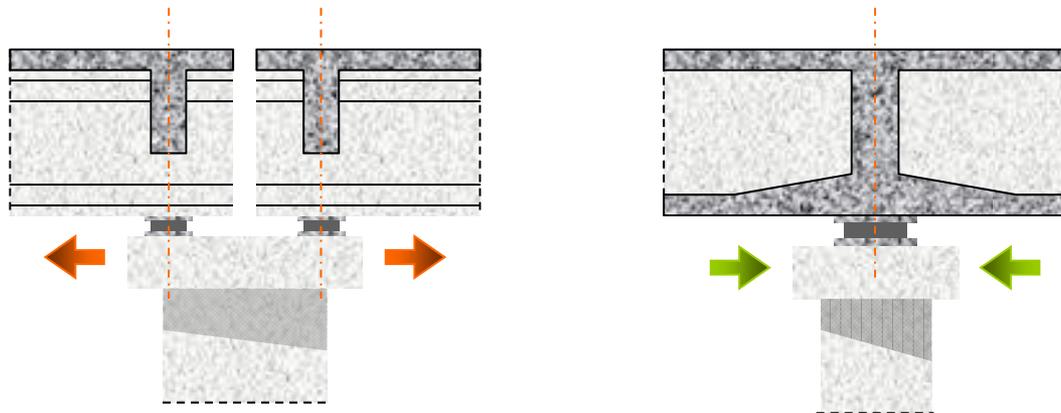
### I. PILAS DE TABLEROS DE VIGAS PREFABRICADAS

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

## 03 Diseño de subestructuras

- ❑ Esta sección también cubre los tableros mixtos o metálicos construidos mediante *apeos*
- ❑ Circunstancias generalmente comunes a estas construcciones:
  - (1) *Presencia de voladizos laterales*. Ello conduce a la posibilidad de reducir el ancho de pila
  - (2) *Mayor libertad de ubicación de los aparatos de apoyo*. Su posición solo está condicionada por el número (siempre reducido) y ancho de los nervios longitudinales: los casos (a) a (d) exigen disponer 12 neoprenos por pila, una losa continua soportada por dos fustes en cada sección de pilas solo requerirá *2 aparatos de apoyo*
  - (3) *Continuidad estructural del tablero sobre pilas*. Al no desdoblarse apoyos longitudinalmente → menor dimensión de la zona de apoyo



## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

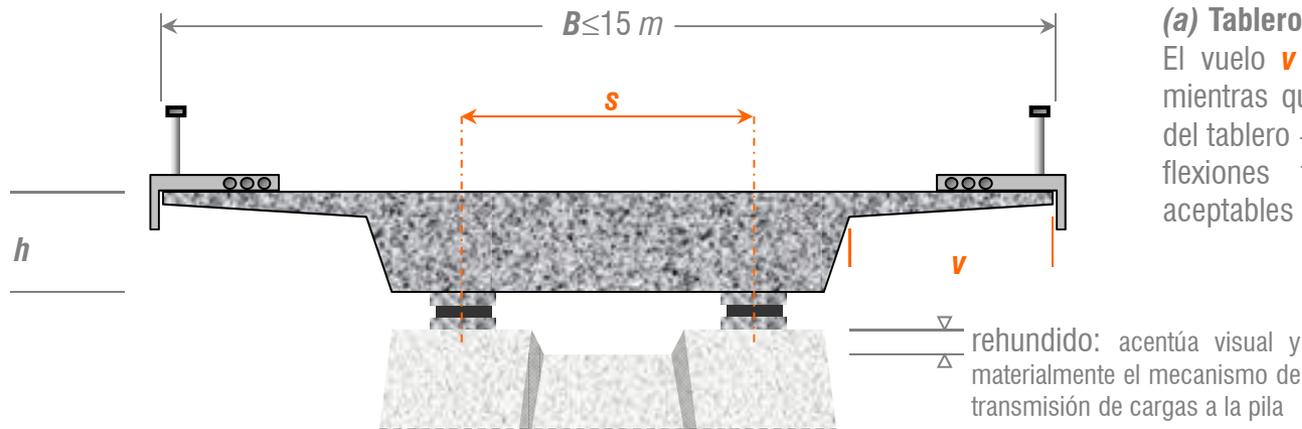
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

## 03 Diseño de subestructuras

### □ Circunstancias propias de los *PASOS SUPERIORES*:

- (1) Suelen ser **muy visibles**, sobre todo por su parte inferior
- (2) Las pilas suelen ser de escasa altura, luego **sin grandes problemas resistentes o constructivos**
- (3) Los vanos suelen ser inferiores a 40 m (vanos medios) → el grado de **acierto** de la obra está muy ligado a un adecuado **diseño** de pilas
- (4) **Parámetro principal de diseño: el ancho del tablero**. Condiciona el número de puntos de apoyo en sección transversal (acotando  $m_{yy}$ ), luego la dimensión  $B_p$  de la cabeza de la pila



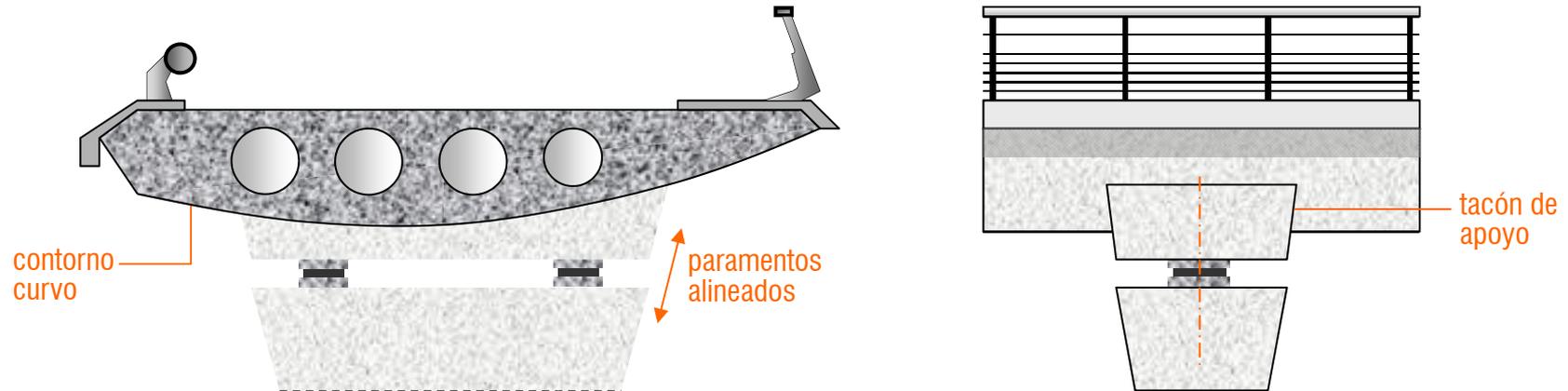
## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

## 03 Diseño de subestructuras

(b) Si la variación de espesor en sentido transversal se *suaviza*, prescindiendo de los voladizos laterales, entonces un tacón proporciona una cara *plana* para apoyar el tablero y además lo rigidiza frente a las flexiones transversales  $m_{yy}$



## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

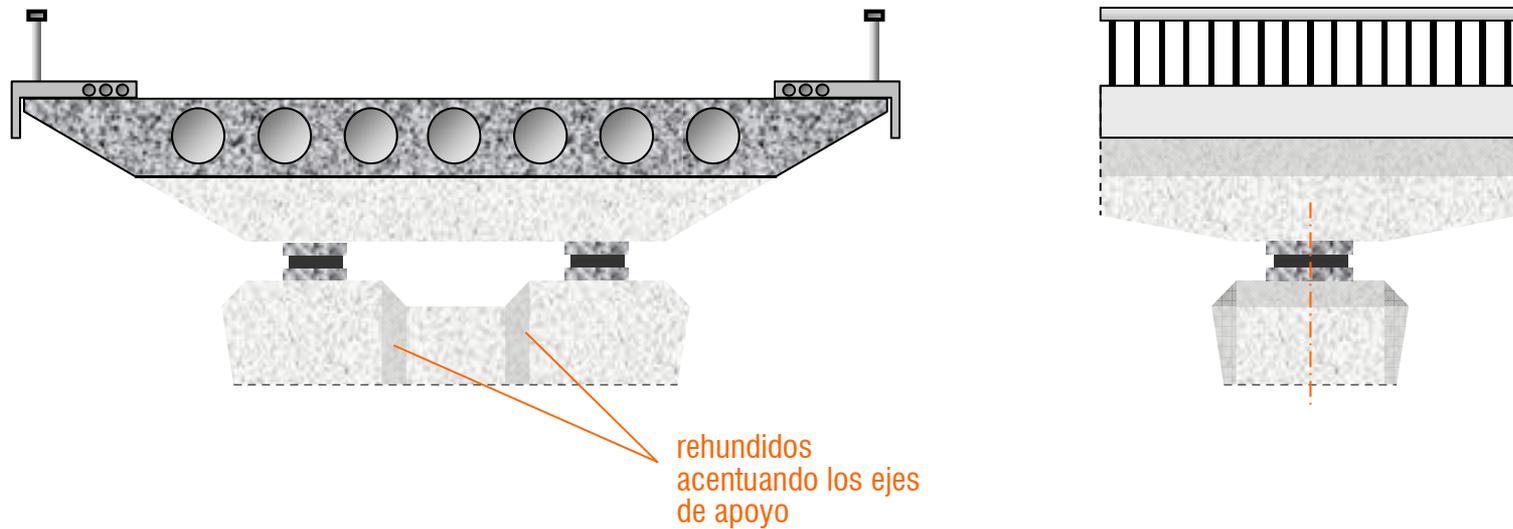
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

(c) Si el tablero es de *canto variable* (longitudinalmente) la zona de apoyo queda naturalmente resaltada



### II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

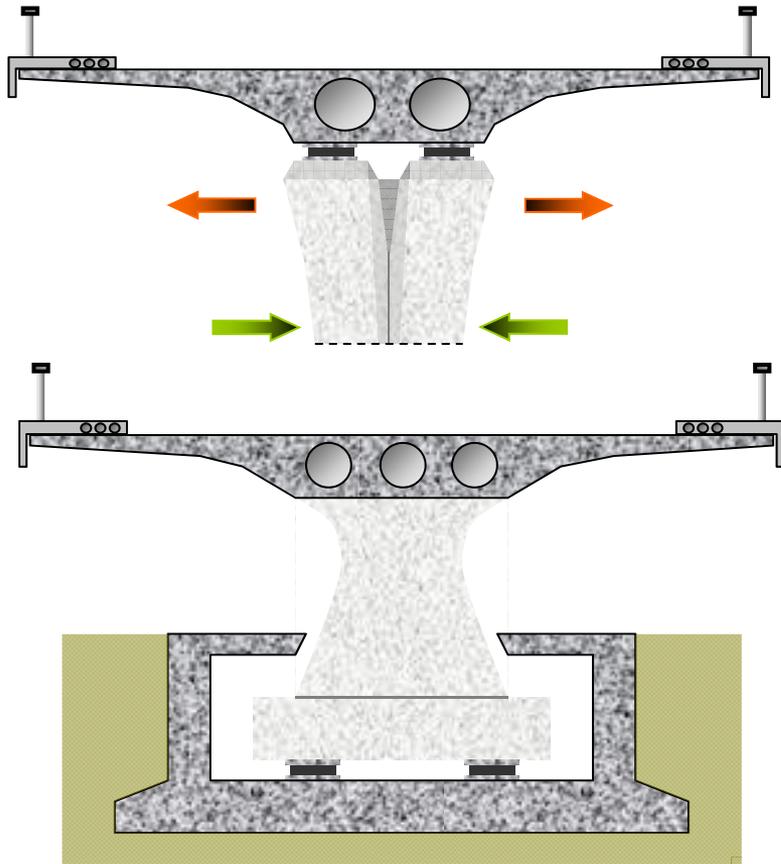
<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras



(d) La reducción del ancho de la pila facilita la **resolución de cruces** esviados, apoyos en mediana...



(e) Esta alternativa surge de buscar **monolitismo formal** en la unión pila-tablero, **compatible con pilas de escasa altura**. El apoyo de la pila se traslada a un plano inferior, disimulado dentro de un recinto visitable, con el fin de garantizar su correcto mantenimiento o reposiciones futuras. Lógicamente, esta solución encarece apreciablemente las subestructuras y exige mayores espesores de neopreno:  $u = u_0 + \phi \times H$ , siendo  $H$  la altura del soporte y  $\phi$  la rotación del tablero

## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

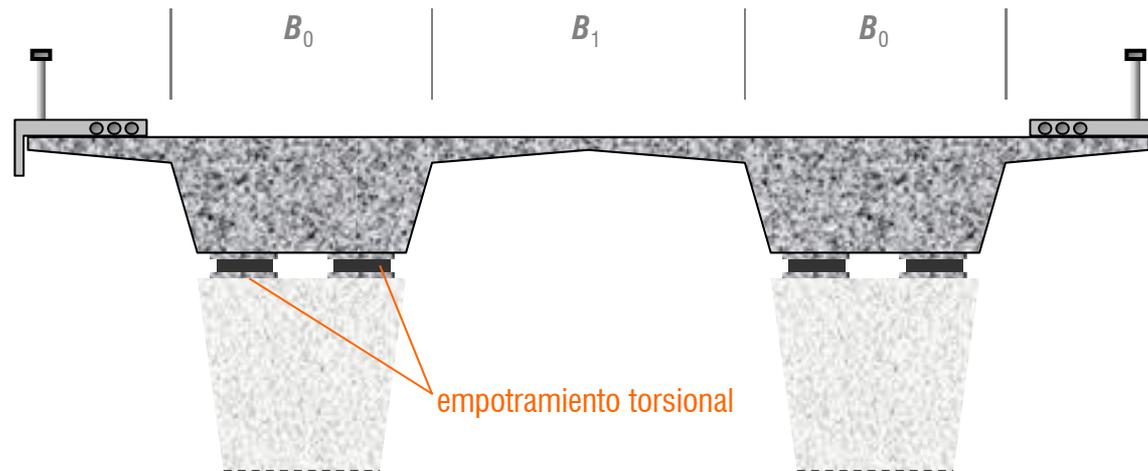
## &lt;3.2.3 Morfología y proyecto de pilas&gt;

## &lt;3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS&gt;



## 03 Diseño de subestructuras

- Si el ancho crece, pongamos  $B > 15$  m, el diseño del apoyo se resuelve en función de la **morfología de la sección transversal**



(f) Tablero formado por dos nervios **anchos** enlazados por una banda de losa, cuya luz más adecuada puede ser  $B_1 = 1.5B_0$  si se dispone correctamente los apoyos del tablero, coaccionando el giro de torsión. Ello requiere **cabezas de pila amplias** en sentido transversal

## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

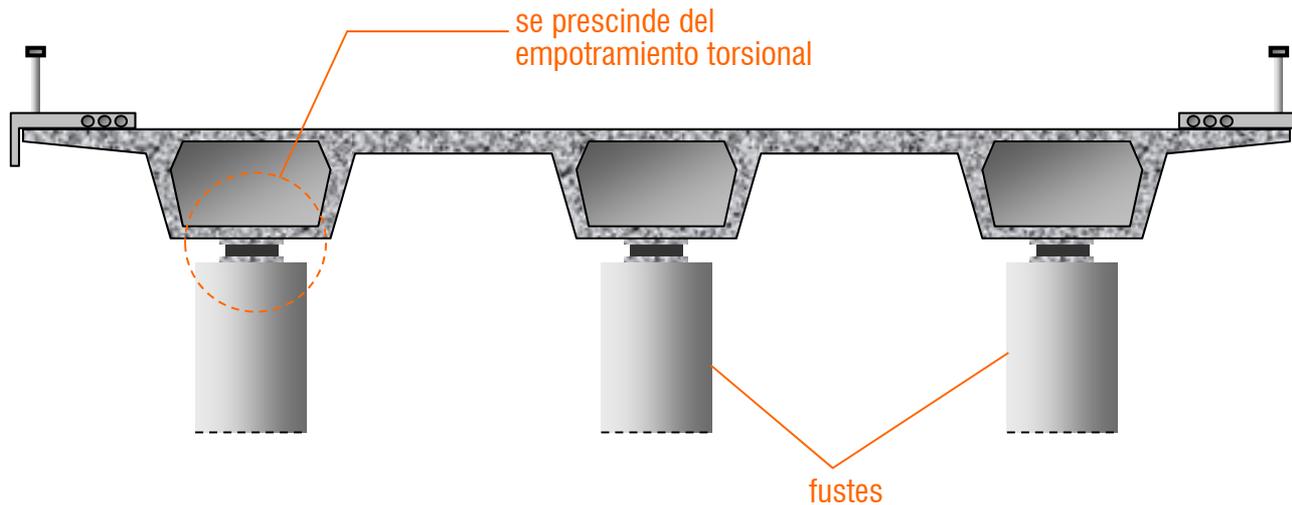
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- Para *anchos de plataforma crecientes*, se puede **aumentar el número de nervios**, con el fin de mantener **espesores moderados** en la losa superior



(g) Esta evolución requiere mayor **control del peso propio**, reduciendo el ancho de cada nervio e incluso aligerándolos. En cambio, no suele permitir alojar más de un neopreno por apoyo en **fuste**, lo que perjudica el reparto transversal de cargas puesto que las rotaciones de eje longitudinal solo pueden controlarse con la **rigidez torsional** de las nervaduras

## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

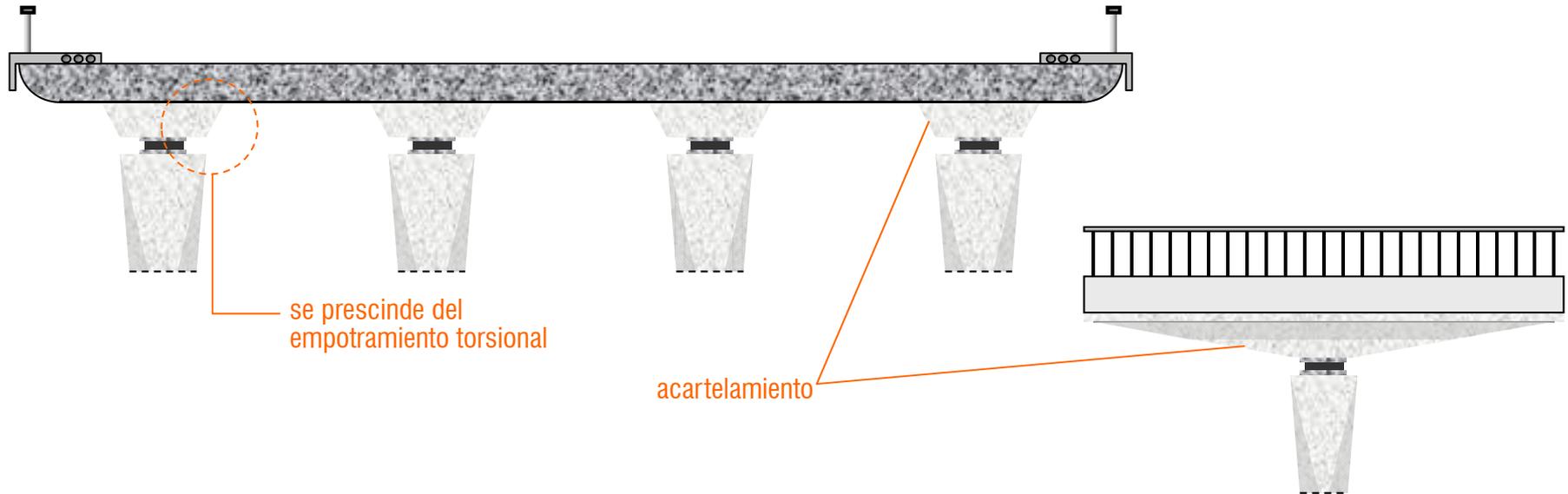
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- Alternativamente, si se desea evitar un número excesivo de nervios longitudinales y de pilas, resulta necesario evolucionar hacia **formas más competentes en el reparto transversal**



(h) En este sentido y para grandes anchos, pongamos  $B > 30$  m, una posibilidad consiste en diseñar un **tablero losa**, con posibles **acartelamientos** sobre pilas si la flexión longitudinal lo requiere. Las pilas vuelven a ser de tipo fuste, aunque pueden armonizarse con la inclinación de las caras de las cartelas

## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

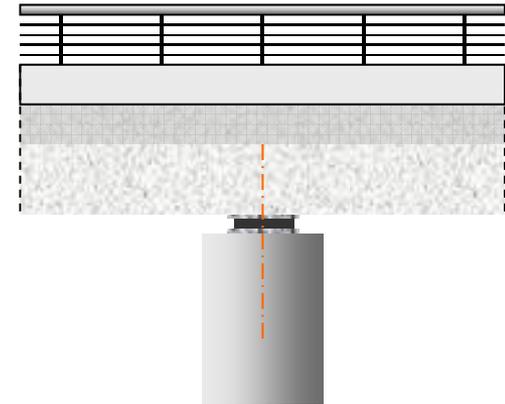
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- *Apoyo en pila única.* Si las condiciones de proyecto exigen reducir el tamaño de las pilas (enlaces a varios niveles...), la sección del tablero debe configurarse atendiendo a la necesidad de **concentrar la rigidez a flexión** y obtener una **gran rigidez a torsión**, sobre todo cuando la planta es curva



(i) Tablero en **cajón único** con voladizos laterales ( $B < 20$  m, usualmente  $< 15$  m)

## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

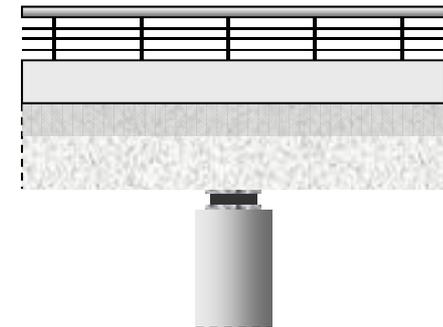
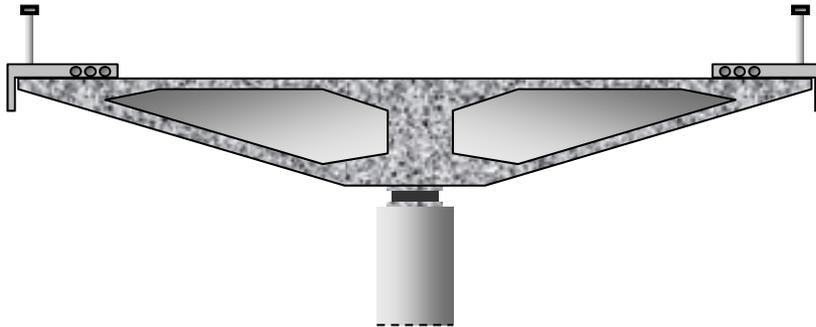
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- En los casos (g) a (j), la **sección del fuste** suele escogerse  $\emptyset$  por razones constructivas (*que no formales*), siempre que el valor de los cortantes  $Q_x$ ,  $Q_y$  debidos al frenado, viento, fuerza centrífuga... lo permita. De lo contrario, se puede orientar la forma hacia elipses u otras geometrías más perfiladas...



- (j) Tablero **bicelular** sin voladizos laterales ( $B > 15$  m y hasta 25 m con voladizos laterales)

## II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- Ejemplo de paso superior ejecutado mediante cimbra convencional con sección transversal en cajón y apoyos sobre pila única (*viaductos de acceso al puente sobre el Neckar en Wernau, con luces de 25 m*). La planta en pantalón y la escasa altura del tablero justifican el sistema de construcción.

*ancho del tablero: 12.50 m (voladizos de 3.50 m)*



### II. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS MEDIANTE CIMBRA TRADICIONAL

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- Es frecuente que los viaductos construidos vano a vano mediante cimbra autolanzable posean *pilas altas*, que conjugan **complejidad resistente y constructiva**. El diseño de los soportes debe facilitar la construcción del tablero, luego el **paso de la cimbra móvil**



### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

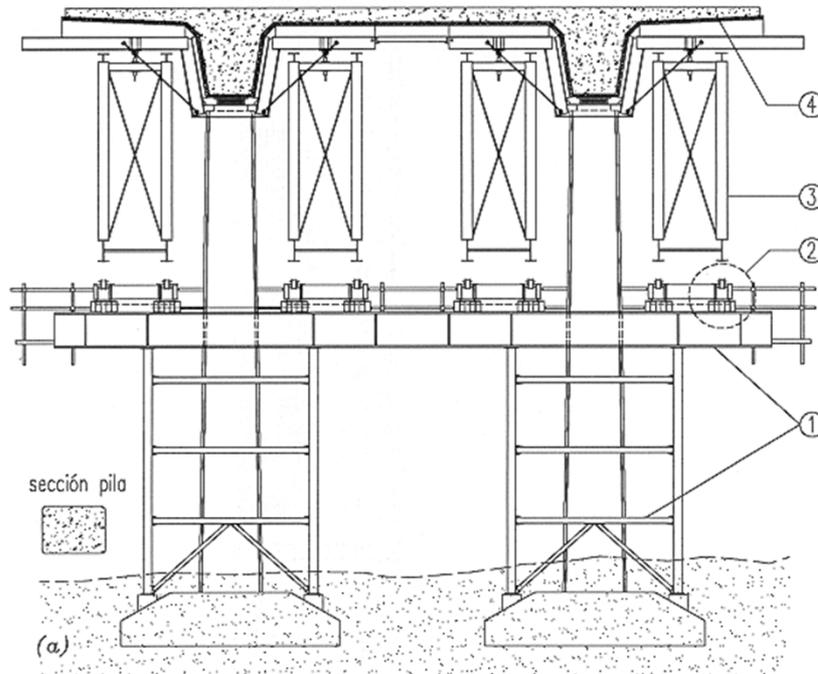
#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

(a)  $H < 25$  m (alturas moderadas)

- Para alturas de pila moderadas, las **formas** adoptadas suelen ser **sencillas**, en pro de simplificar la construcción



- (1) **Andamiaje** desmontable para apoyo de la cimbra móvil
- (2) **Rodillos** para el guiado y deslizamiento de la cimbra
- (3) **Vigas portantes** de la cimbra móvil
- (4) **Encofrado** del tablero



### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

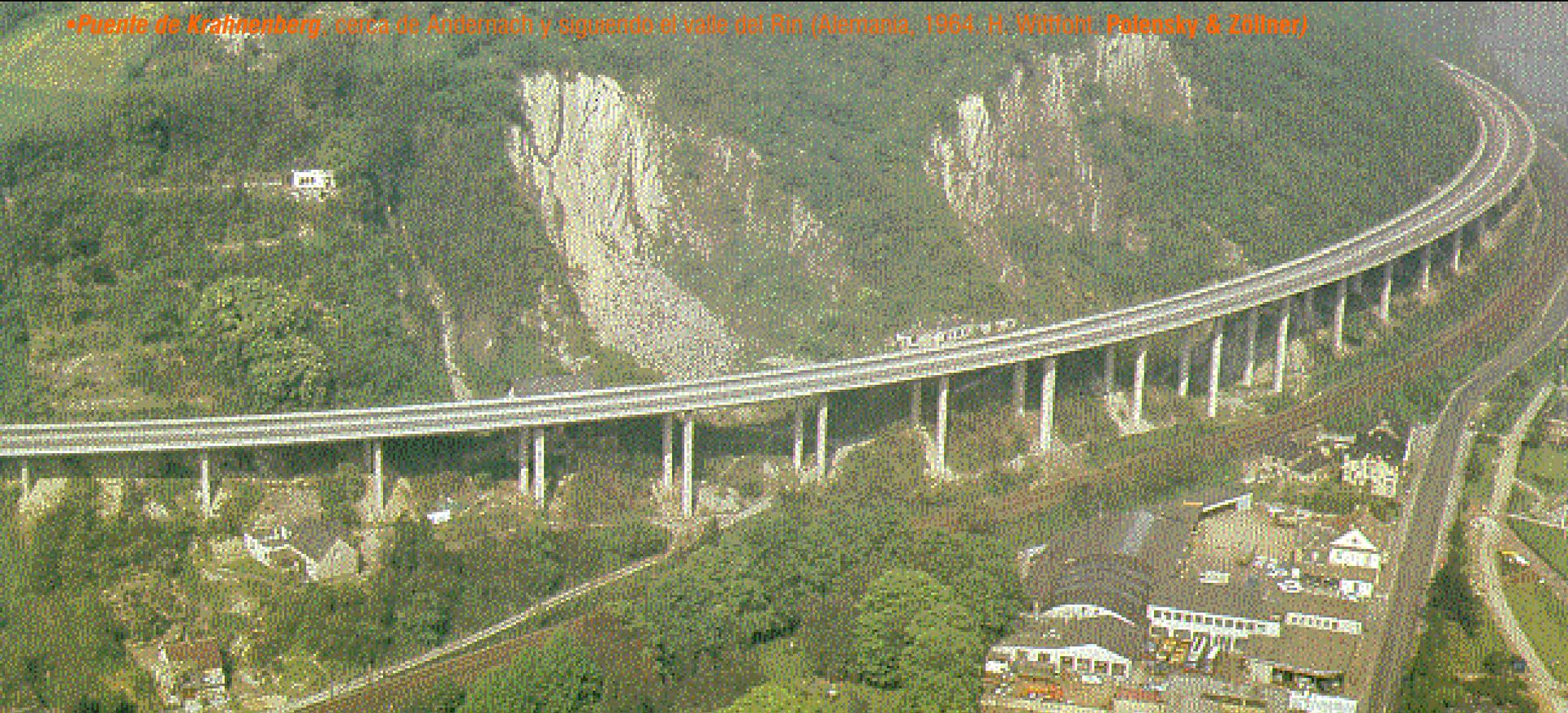
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

•*Puente de Krahnenberg*, cerca de Andernach y siguiendo el valle del Rin (Alemania, 1964. H. Wittfoht, Potensky & Zöllner)



### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

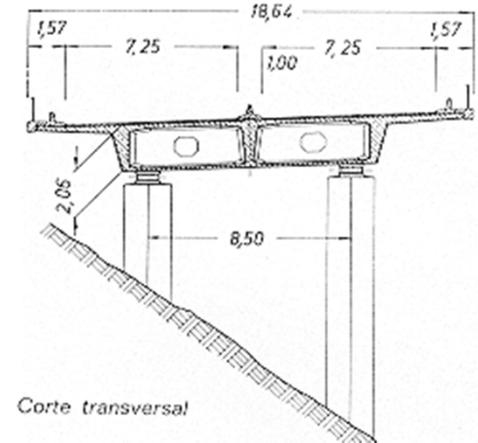
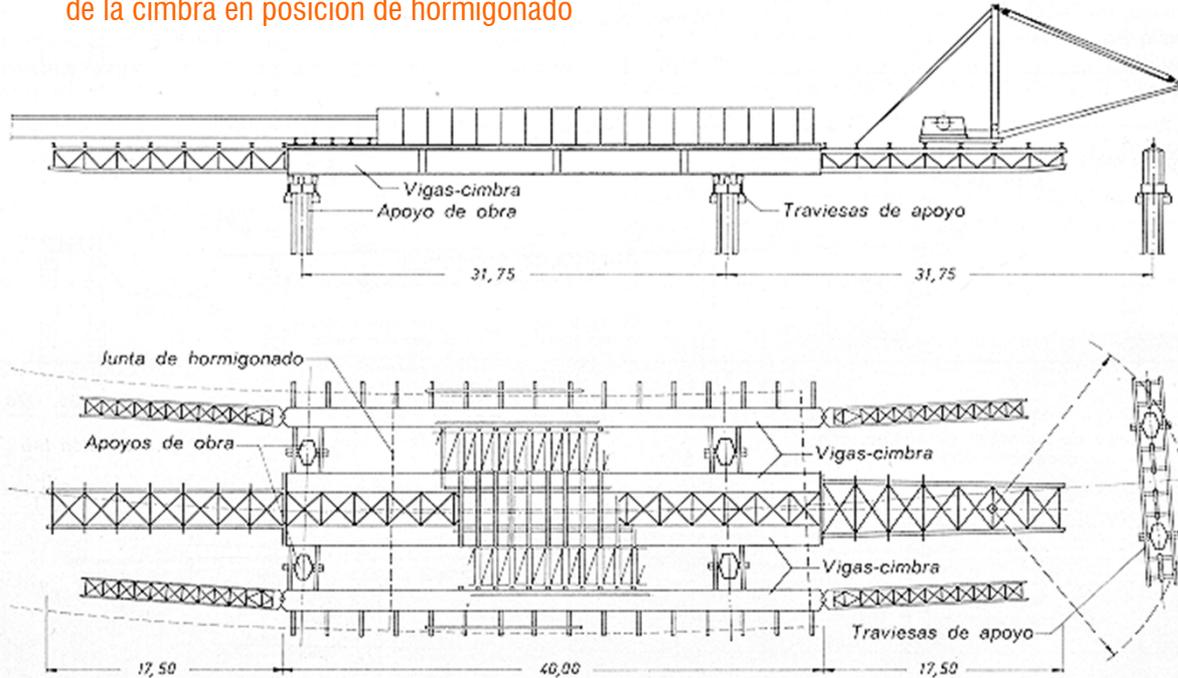
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

▪ **Puente de Puente de Krahnberg:** esquema general de la cimbra en posición de hormigonado



### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

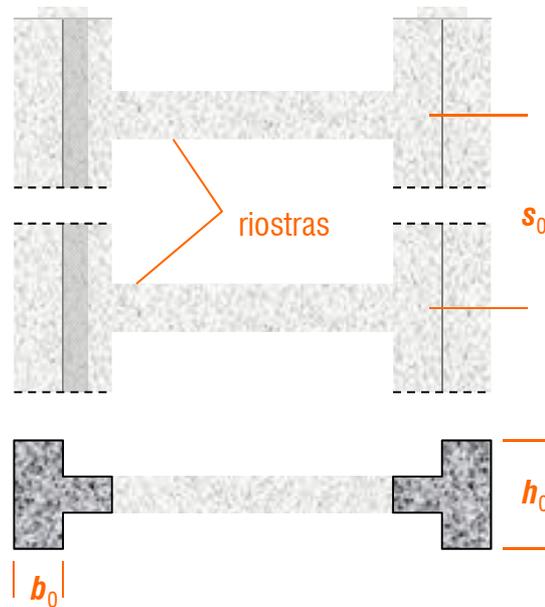


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

(b)  $H > 25$  m

- El esquema anterior debe **evolucionar** para adquirir mayor **rigidez transversal**. En este sentido, se pueden disponer traviesas horizontales o incluso un arriostramiento continuo (sección en H). Ambas opciones conservan la expresividad formal propia de su función, al dotar de mayor sección las zonas directamente comprimidas

(1) **Pila compuesta por fustes arriostrados**

- Proporciones adecuadas:  $s_0 > 15b_0$  ,  $h_0 > H/15$ , siendo  $H$  la altura de la pila y  $h_0$  el canto en la base (si la altura es grande, conviene adoptar un ligero desplome de las caras laterales ~2%)
- Si el sistema de cimbrado lo requiere, la coronación de las pilas debe permitir alojar las vigas de avance

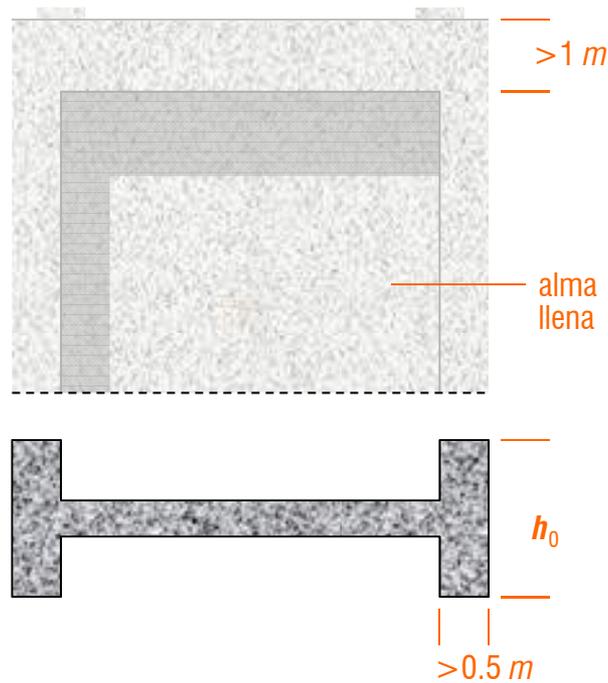
## III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

## &lt;3.2.3 Morfología y proyecto de pilas&gt;

## &lt;3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS&gt;



## 03 Diseño de subestructuras



## (2) Pila con sección en H

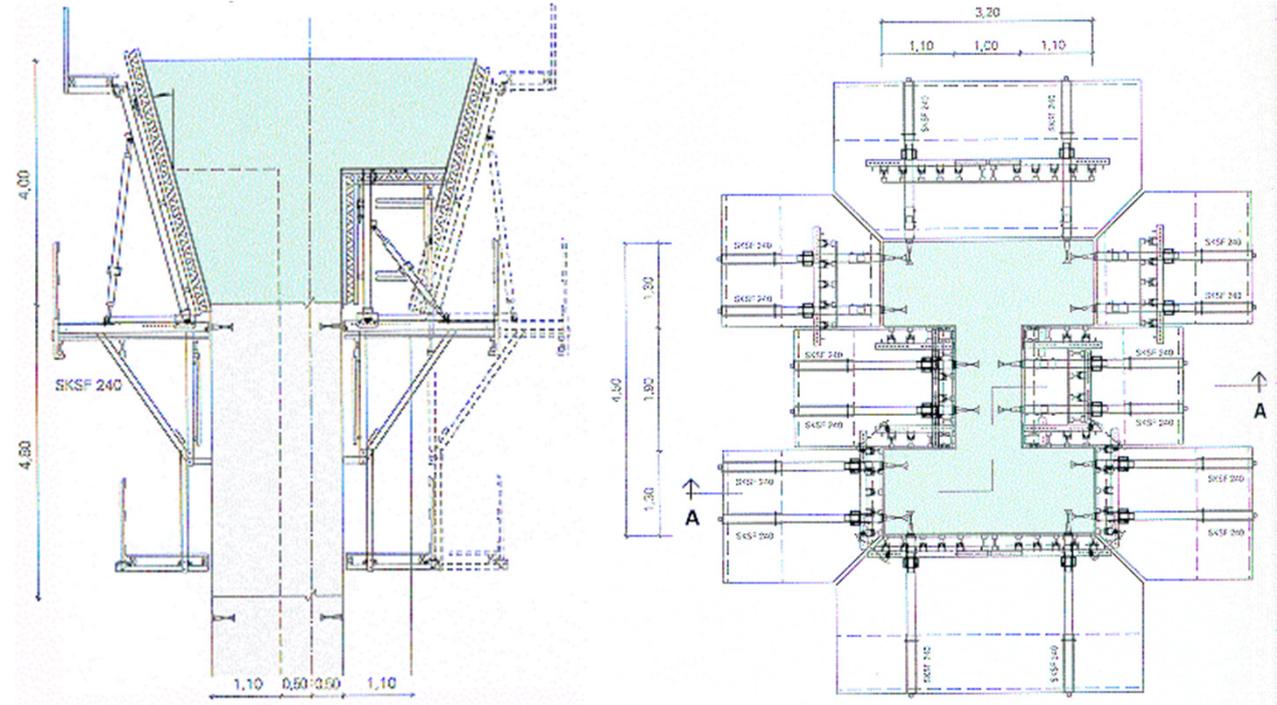
- Proporciones adecuadas:  $h_0 > H/15$ , siendo  $H$  la altura de la pila y  $h_0$  el canto en la base (si la altura es grande, conviene adoptar un ligero desplome de las caras laterales ~2%)
- Si el sistema de cimbrado lo requiere, la coronación de las pilas debe permitir alojar las vigas de avance

## III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

## &lt;3.2.3 Morfología y proyecto de pilas&gt;

## &lt;3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS&gt;

## 03 Diseño de subestructuras



- Pilares de gran altura (hasta 34 m) con sección en H, realizados con encofrado trepante (sistema PERI SKSF y VARIO para el capitel)

### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

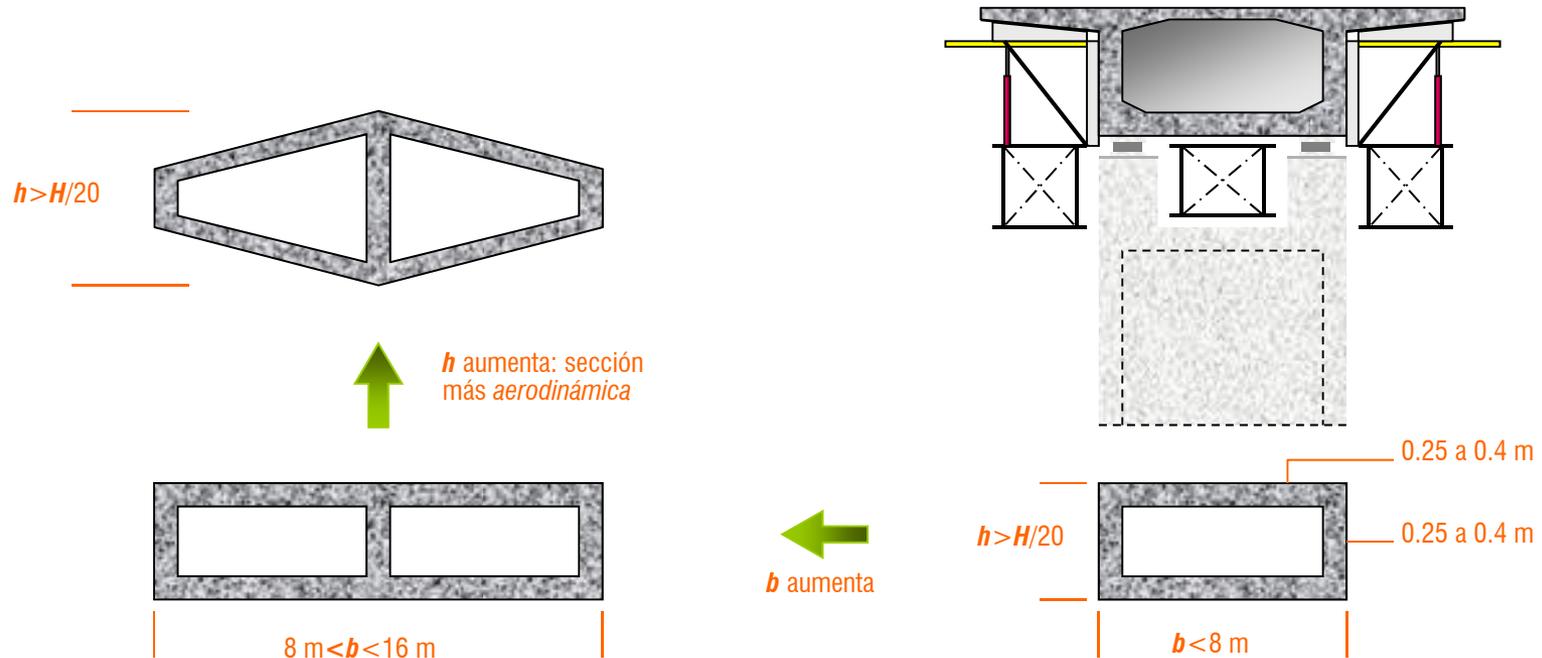
#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- Las *pilas más altas* requieren mayor *rigidez*, tanto por motivos constructivos como resistentes. En este sentido, la mejor disposición estructural consiste en adoptar *secciones celulares*. Estas proporcionan directamente estabilidad durante la obra, *rigidez a flexión frente a acciones transversales en todas las direcciones y elevada rigidez torsional*



### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

## 03 Diseño de subestructuras



- (1) *Viaducto de Pfeddersheim*, vanos de 45 y 50 m (Alemania, 1962. H. Wittfoht)  
 (2) *Viaducto de Blasbachtal*, vanos de 46.5 (Alemania, 1962. H. Wittfoht)  
 (3) *Viaducto de Vinxbachtal*, vanos de 45 y 50 m (Alemania, 1962. H. Wittfoht)

En todos los casos,  $H < 30$  m

### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

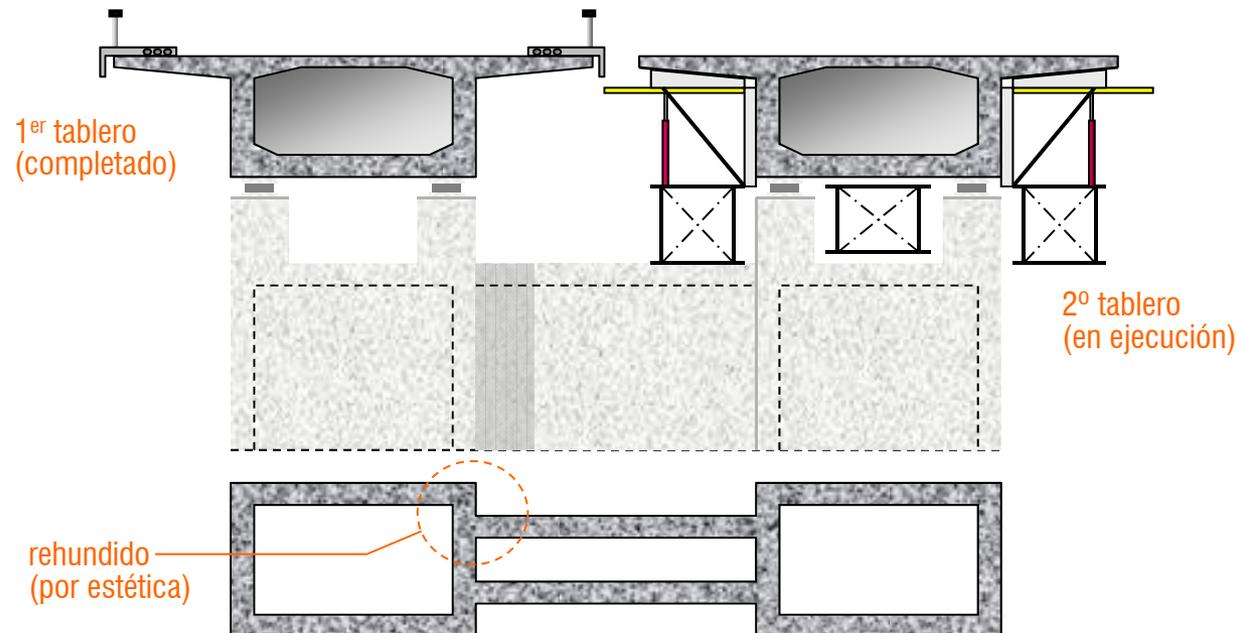
#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

(c)  $H > 50$  m (pilas altas) y superestructura ancha ( $\Sigma B > 20$  m)

- El caso de tableros desdoblados y gran altura de pilas requiere pasar de doble pila independiente a **pila única tritelular**. El aspecto mejora si se rehunde las caras de la celda central

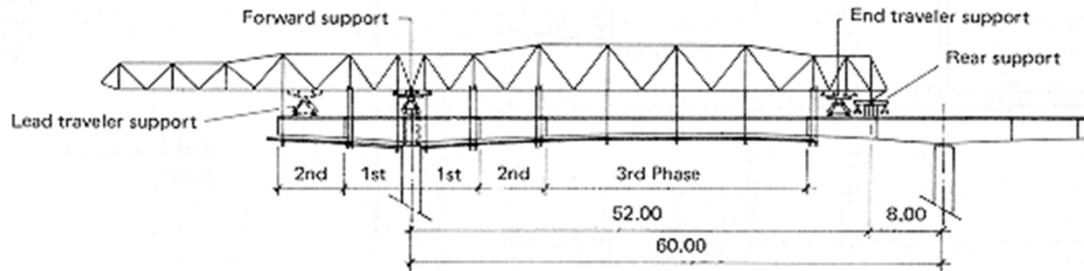


### III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

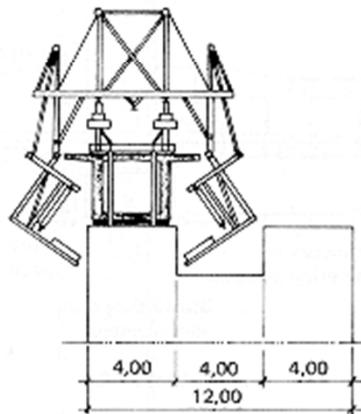
#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

## 03 Diseño de subestructuras



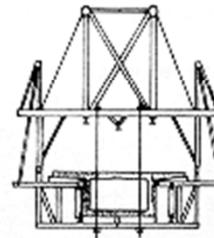
Elevation

(a)



Section at forward support—forms open

(b)



Typical cross section

(c)

▪ *Viaducto sobre el Guadiana, entre Beja y Serpa (Portugal)*

## III. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS VANO A VANO MEDIANTE CIMBRA AUTOLANZABLE

## &lt;3.2.3 Morfología y proyecto de pilas&gt;

## &lt;3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS&gt;



## 03 Diseño de subestructuras

- *Particularidad fundamental de los puentes contruidos por voladizos compensados: la unión **pila-dintel** ha de ser **monolítica al menos durante la construcción** del tablero, para poder resistir acciones descompensadas (progresión asimétrica del tablero, viento...)*

NB: **no** es el caso de los puentes contruidos en **voladizo evolutivo** (una única dirección de avance)



### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- (a) **Pilas altas:** son naturalmente flexibles (por forma) y la unión puede diseñarse monolítica
- (b) **Pilas cortas:** en servicio se requiere flexibilidad del **sistema de soporte** (pila-conexión) frente a los acortamientos  $u$  del tablero, por lo que se requiere un diseño especial

### TABLA RESUMEN

tipo de conexión	pilas cortas		pilas altas	
	rígidas*	pantallas flexibles	en cajón	sección en $H$
unión monolítica	-	■	■	■
neoprenos $\times(n)$	(1)	-	(2)	-
apoyo auxiliar	(1)	-	-	-

(\*): sección sólida, en cajón...

■ : diseño adecuado

( $n$ ): número de secciones de apoyo del tablero sobre cada pila

(1):  $n=1$ , libera  $u$  y  $\theta_y$ , tablero anclado provisionalmente mediante pretensado doble (pares de barras)

(2):  $n=2$ , libera  $u$  (recomendado en tableros de dovelas prefabricadas), tablero anclado provisionalmente mediante pretensado (simple o doble)

## IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

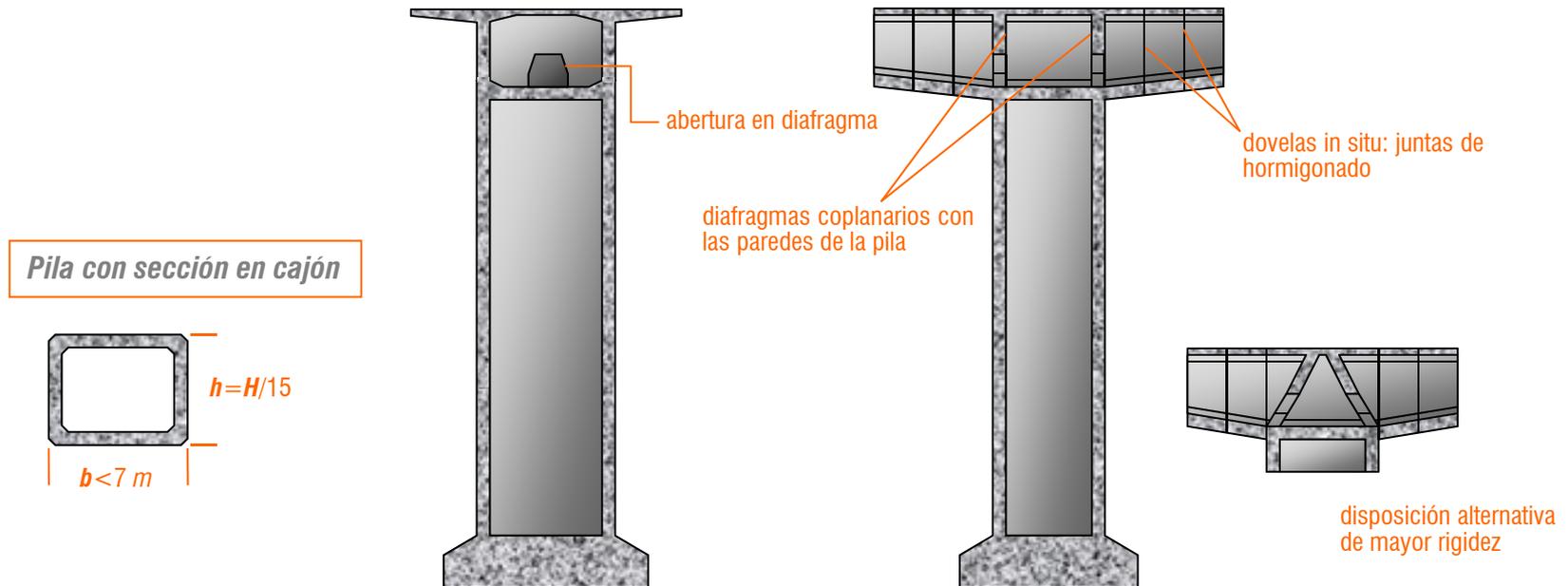
### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

(1) *Empotramiento permanente*: requiere **flexibilidad** por parte de las pilas, para reducir su flexión y los momentos transmitidos al terreno, originados por los cambios de longitud del tablero (por pretensado, reología y  $\Delta T$ )

(1.a) *Pilas altas*: son naturalmente flexibles (por forma) y la unión puede diseñarse monolítica



### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

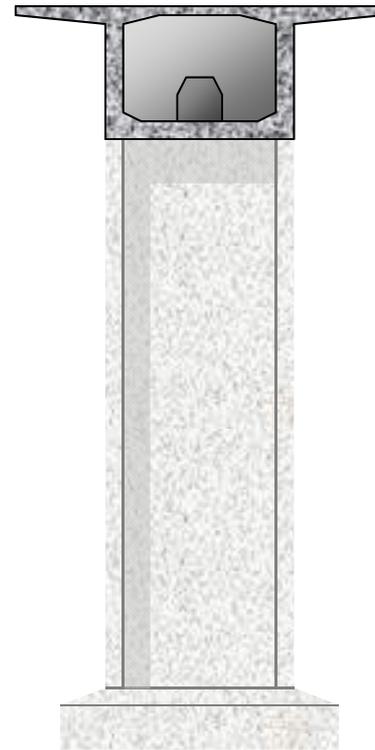
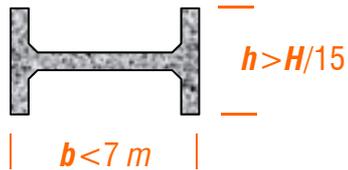
#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

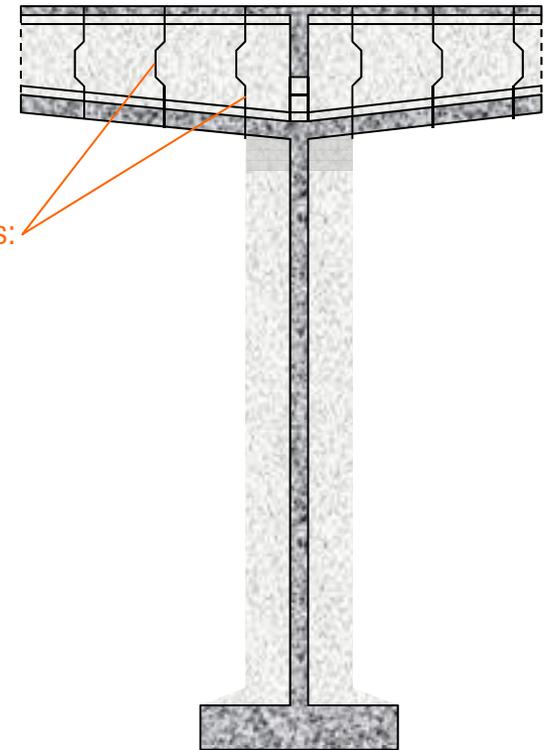
## 03 Diseño de subestructuras

### (1.a) Pilas altas (continuación)

Pila con sección en H



dovelas prefabricadas:  
llaves de cortante



## IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

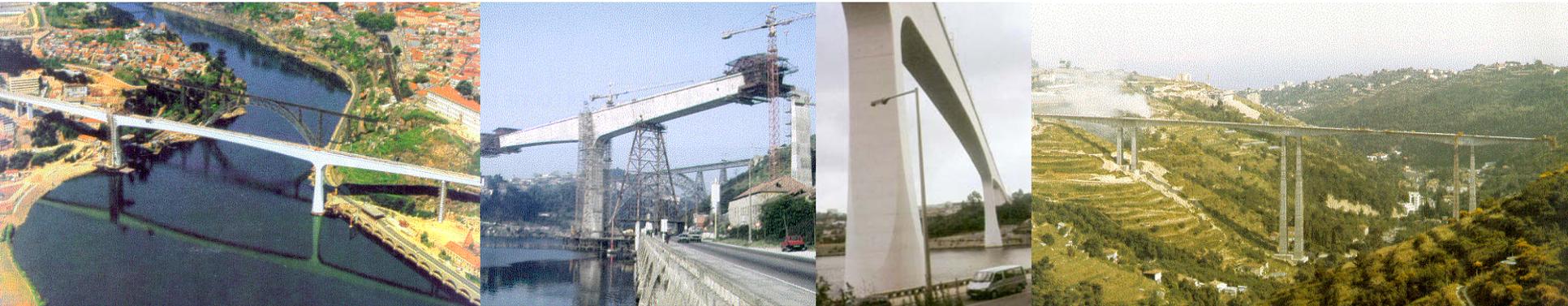
### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- (1) *Empotramiento permanente*: requiere **flexibilidad** por parte de las pilas, para aminorar su flexión y la transmisión de momentos al terreno, originados por los cambios de longitud del tablero (por pretensado, reología y  $\Delta T$ )
- 
- ❑ Las paredes que conforman la pila han de tener **continuidad** a través del dintel, con el fin de evitar flexiones locales en la losa de fondo del tablero
  - ❑ La sección en *H* es sensiblemente **más flexible** frente a sollicitaciones longitudinales y torsiones, pero no requiere encofrado interior
  - ❑ Ambas **tipologías de pilas** son compatibles con tableros hormigonados in situ o bien prefabricados por dovelas, aunque el empotramiento es más cómodo de materializar cuando el tablero se ejecuta en obra



### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

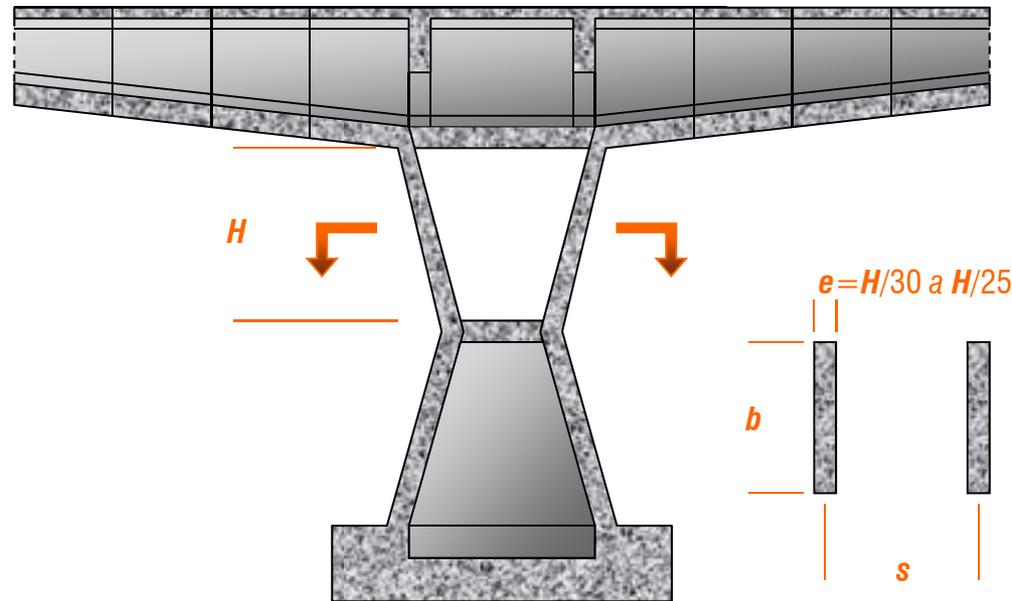
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

(1.b) *Pilas cortas*: debe resolverse la estabilidad durante el avance sin perjudicar estructuralmente a las subestructuras cuando la obra está en servicio (principalmente bajo movimientos longitudinales  $u$  del tablero). Una solución consiste en disponer *pantallas flexibles*



### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

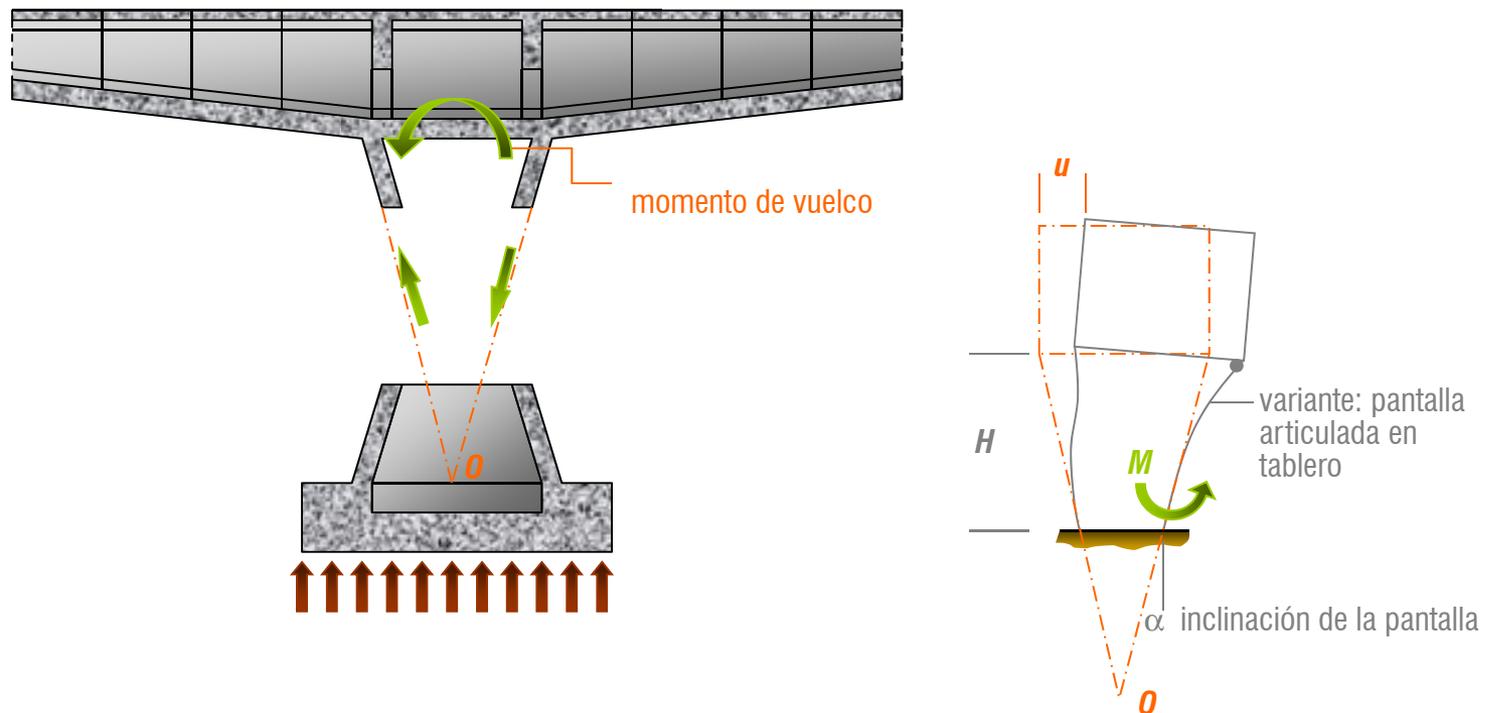
#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

### (1.b) Pilas cortas con pantallas flexibles



## IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



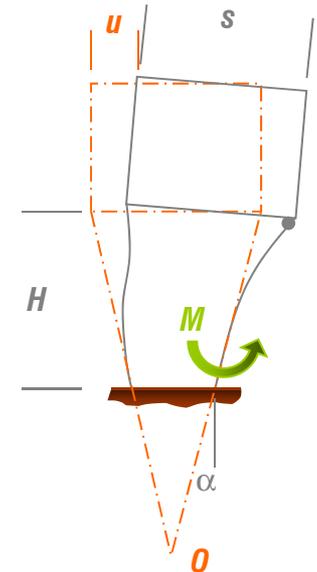
## 03 Diseño de subestructuras

### (1.b) Pilas cortas con pantallas flexibles (continuación)

- Sea  $u$  el movimiento horizontal del tablero en la unión con la pila, originado por las acciones térmicas, el pretensado y las deformaciones diferidas del hormigón y  $M$  el momento flector inducido en la pantalla:

$$M = k \frac{3EI}{H^2} u \cos \alpha$$

$k=2$  si la pantalla se empotra en el tablero,  $k=1$  si se articula (rótula Freyssinet),  $I$  es el momento de inercia de la pantalla respecto a su plano medio, igual a  $be^3/12$



- En el caso de disponer una **pila de sección cerrada**, su inercia  $I^*$  sería aproximadamente igual a  $eb^3/2$  (se desprecia la colaboración de las almas) mientras que la altura  $H^*$  podría variar entre  $H$  y  $2H$ , dependiendo de las dimensiones del **pedestal**

## IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

### (1.b) Pilas cortas con pantallas flexibles (continuación)

- Relación entre momentos **transmitidos a cimientos**:

$$\rho = \frac{2M}{M^*} = \frac{2kl}{I^*} \frac{H^{*2}}{H^2} = \frac{k}{3} \left(\frac{e}{s}\right)^2 a \frac{4}{3} \frac{k}{3} \left(\frac{e}{s}\right)^2$$

$e \times s$	0.25×4	0.25×5	0.4×4	0.4×5
$k=1$	$\rho_{min} \times 10^3$ 1.3021	0.8333	3.3333	2.1333
	$\rho_{max} \times 10^3$ 5.2083	3.3333	13.3333	8.5333
$k=2$	$\rho_{min} \times 10^3$ 2.6042	1.6667	6.6667	4.2667
	$\rho_{max} \times 10^3$ 10.4167	6.6667	26.6667	17.067

- La Tabla anterior indica que en el caso más desfavorable, las pantallas flexibles proporcionarán una **reducción** de momentos en cimientos del **97.33%**
- La inclinación de las pantallas permite **uniformizar** las presiones transmitidas a cimientos
- Durante la construcción, los posibles momentos de vuelco inducen principalmente esfuerzos **axiles** en las pantallas, frente a los cuales estas presentan la **rigidez adecuada**

## IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

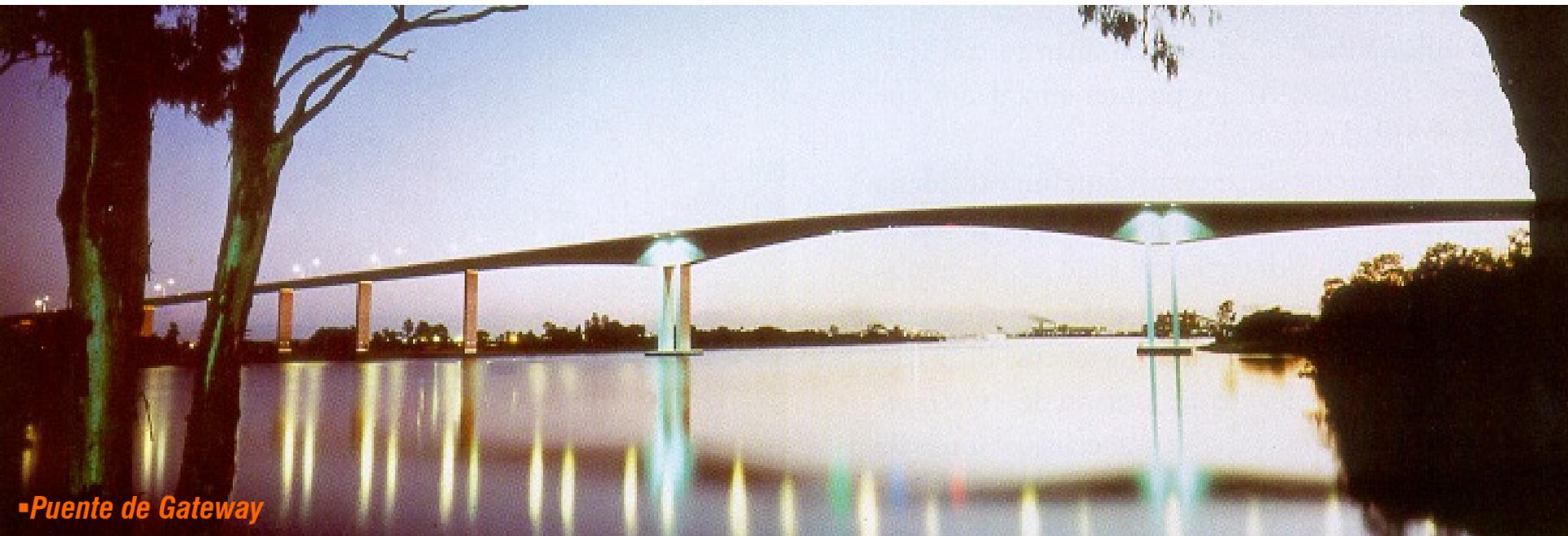
### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

### (1.b) Pilas cortas con pantallas flexibles: ejemplos

- *Puente de Gateway*, en Brisbane (1985, vano máximo de 260 m)
- *Puente de Juvisy* (Francia, 1968, 6 vanos, el máximo de 66.6 m)



▪ *Puente de Gateway*

### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

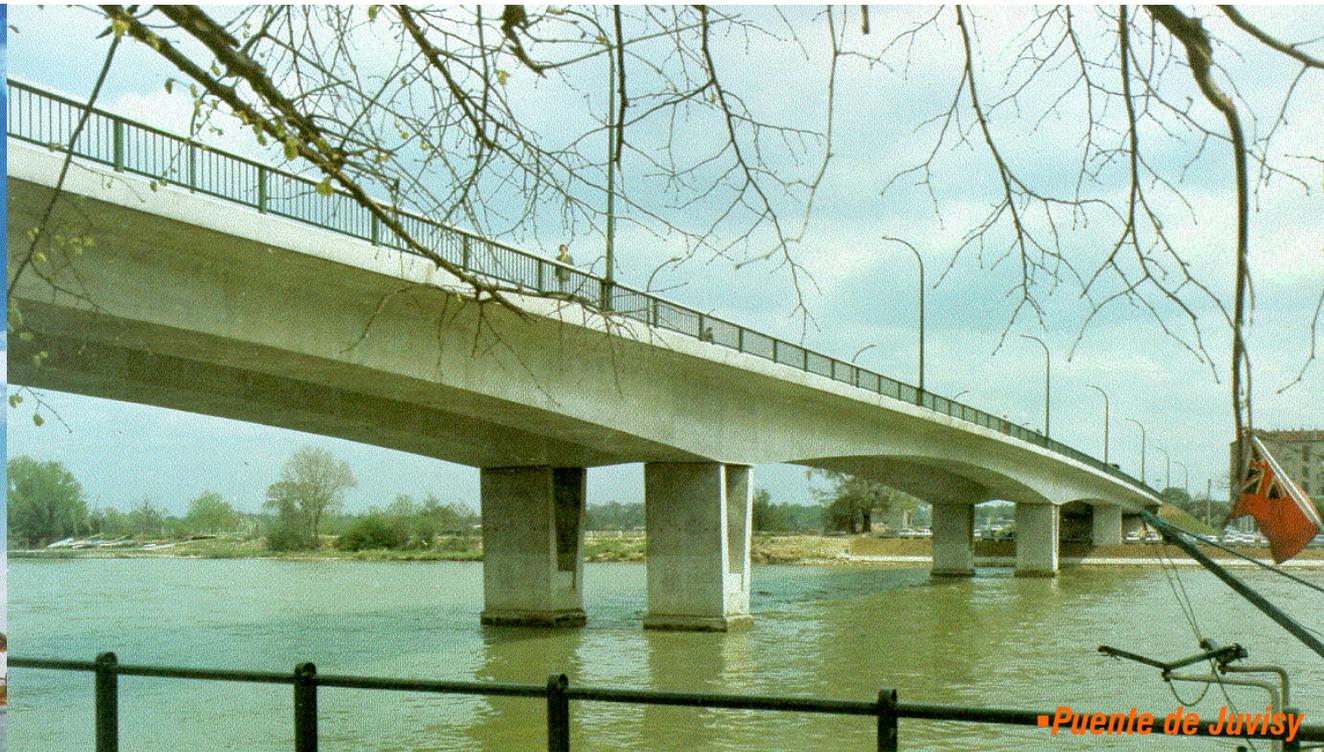


## 03 Diseño de subestructuras

(1.b) *Pilas cortas con pantallas flexibles*: ejemplos



«Puente de Gateway»



«Puente de Juvisy»

### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

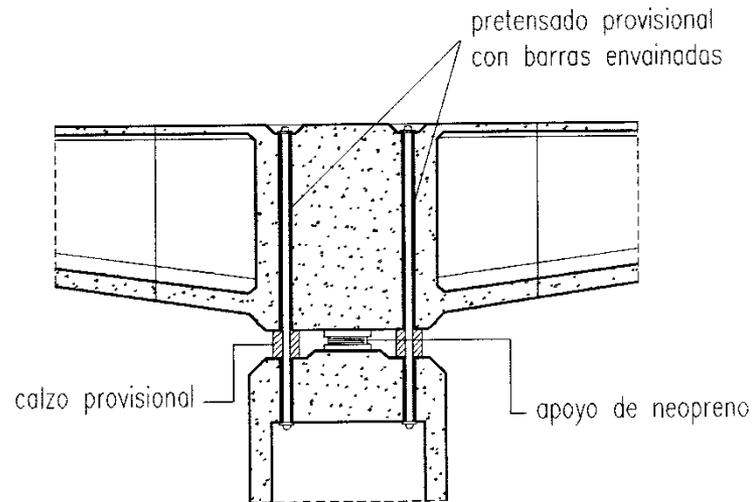
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- (2) *Empotramiento provisional*: se suele adoptar esta disposición cuando la **altura de la pila es escasa** comparada con la luz de vano y por lo tanto, conviene que *en servicio* el tablero esté **simplemente apoyado** sobre las pilas



- En construcción: *empotramiento provisional* por bloqueo mediante calzos y barras
- En servicio: **tablero simplemente apoyado** (una sola fila de neoprenos,  $n=1$ )

### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- (2) *Empotramiento provisional*: cuando la **altura de la pila es escasa** pero su cabeza no proporciona espacio suficiente para alojar pares de barras con el brazo suficiente para compensar el vuelco del tablero, una alternativa a la opción anterior consiste en disponer un **apoyo provisional** próximo a la pila



- En construcción: *empotramiento provisional* por bloqueo mediante apoyo provisional (1 o 2 caballetes, en función de la posibilidad de levantamiento)
- En servicio: **tablero simplemente apoyado** (una sola fila de neoprenos,  $n=1$ )

### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

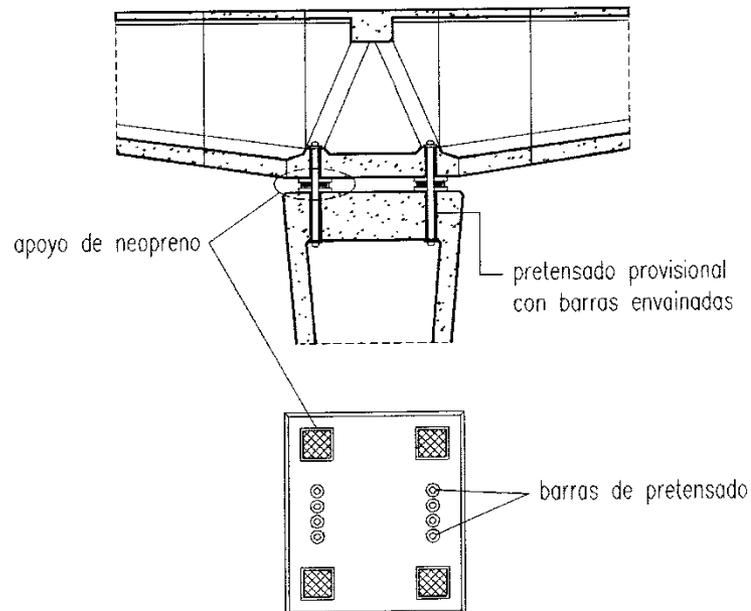
#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- (2) *Empotramiento provisional*: con **alturas de pila considerables** y *tablero de dovelas prefabricadas*, o bien si se decide no coaccionar los cambios de longitud del tablero (dinteles continuos de *gran longitud*) se puede desdoblarse los apoyos de neopreno y durante el avance en voladizo, disponer barras verticales tesadas (en uno o dos planos)



- En construcción: *empotramiento provisional* debido al desdoblamiento de neoprenos y al anclaje mediante barras (dispuestas en dos planos en este caso)
- En servicio: *tablero empotrado-deslizante* (dos filas de neoprenos,  $n=2$ )

### IV. PILAS DE TABLEROS CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS SUCESIVOS

#### <3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

#### <3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



## 03 Diseño de subestructuras

- ❑ **DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN PILAS:** el modelado estructural de la interacción subestructuras-tablero

**Problema:** determinación de esfuerzos en el sistema estructural tablero-subestructuras y en particular en pilas y aparatos de apoyo

### CÁLCULO EXACTO (con **interacción**)

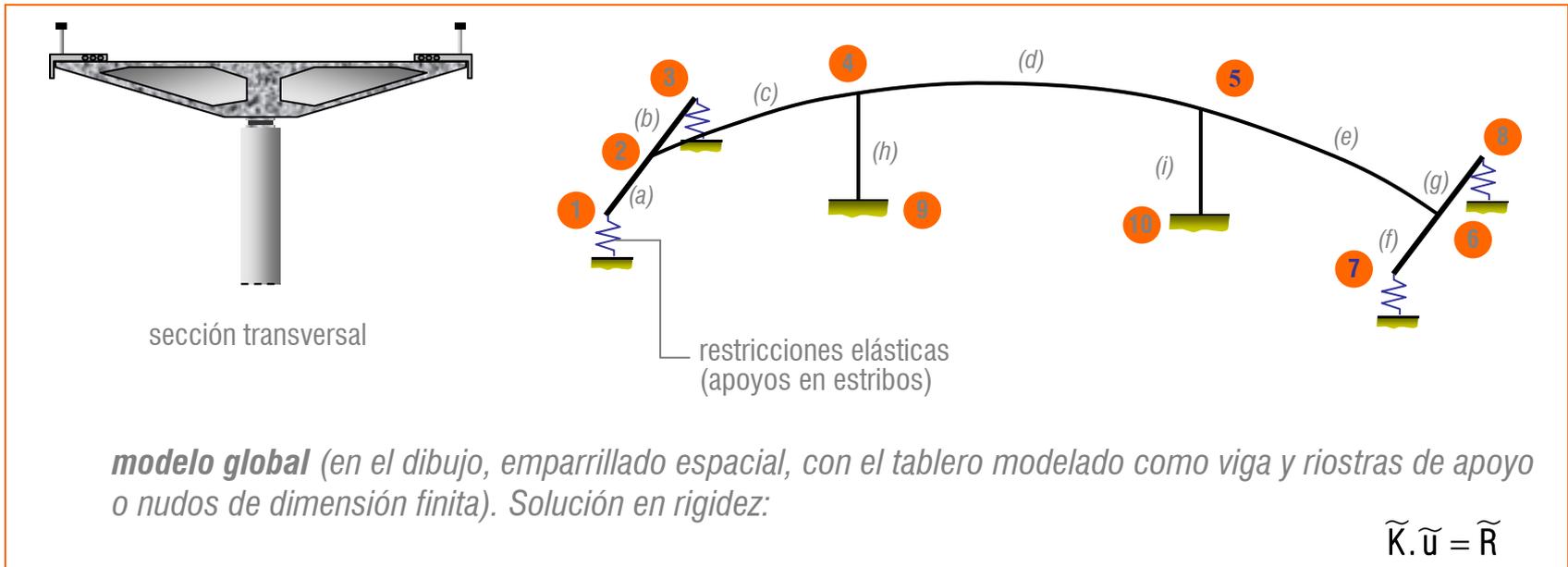
- **modelo global:** ecuaciones en desplazamientos para el conjunto tablero-subestructuras  $\Leftrightarrow$  matriz de rigidez de todo el conjunto
- **modelos parciales:** ecuaciones de compatibilidad entre subsistemas  $\Leftrightarrow$  matrices de flexibilidad de cada subsistema

### CÁLCULO APROXIMADO (despreciando **interacción**)

- **Acciones gravitatorias:** se analizan idealizando las condiciones de apoyo (coacciones o desconexiones totales)
- **Acciones transversales:** se analizan considerando la deformabilidad real de las subestructuras e idealizando el tablero (como sólido rígido)

## 03 Diseño de subestructuras

- ❑ **DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN PILAS:** cálculo exacto mediante modelo global



## Consideraciones particulares

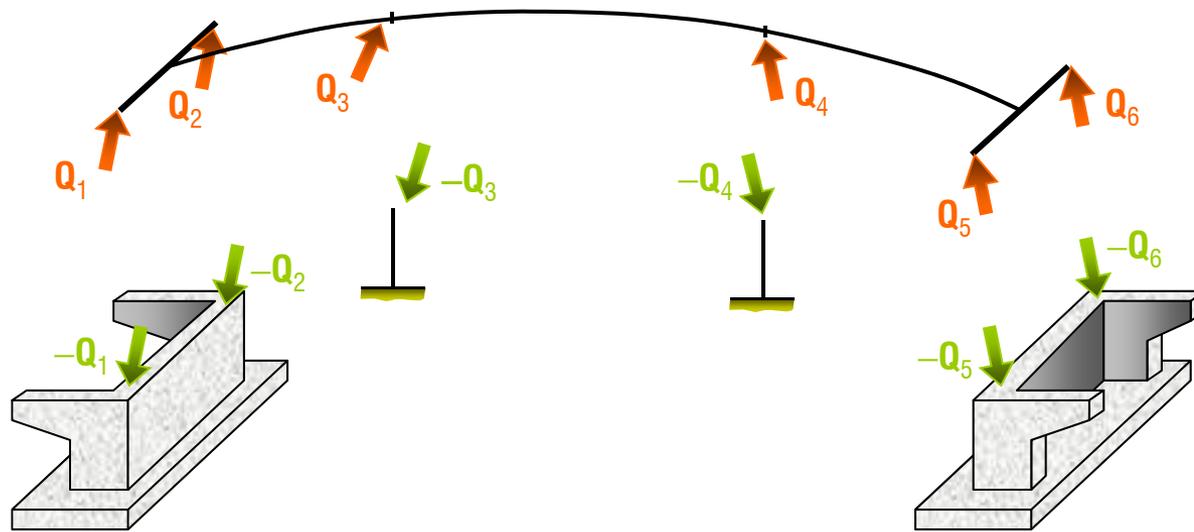
- ❑ En la actualidad, los programas de cálculo de estructuras al uso (SAP2000...) permiten **modelar** correctamente los diferentes tipos de **conexión** pilas-tablero e introducir **nudos de dimensión finita**
- ❑ El modelado de los estribos debe al menos incorporar la deformabilidad de los **aparatos de apoyo**

## &lt;3.2.3 Morfología y proyecto de pilas&gt;

## &lt;3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS&gt;

## 03 Diseño de subestructuras

- **DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN PILAS:** cálculo exacto mediante subsistemas (modelos parciales)



*modelos parciales: tablero y subestructuras, con sus aparatos de apoyo. Solución en flexibilidad:*

$$(f_d + f_s) \cdot Q + u_0 = 0$$

- Único método compatible con algunas **formulaciones fuertes** para el tablero

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

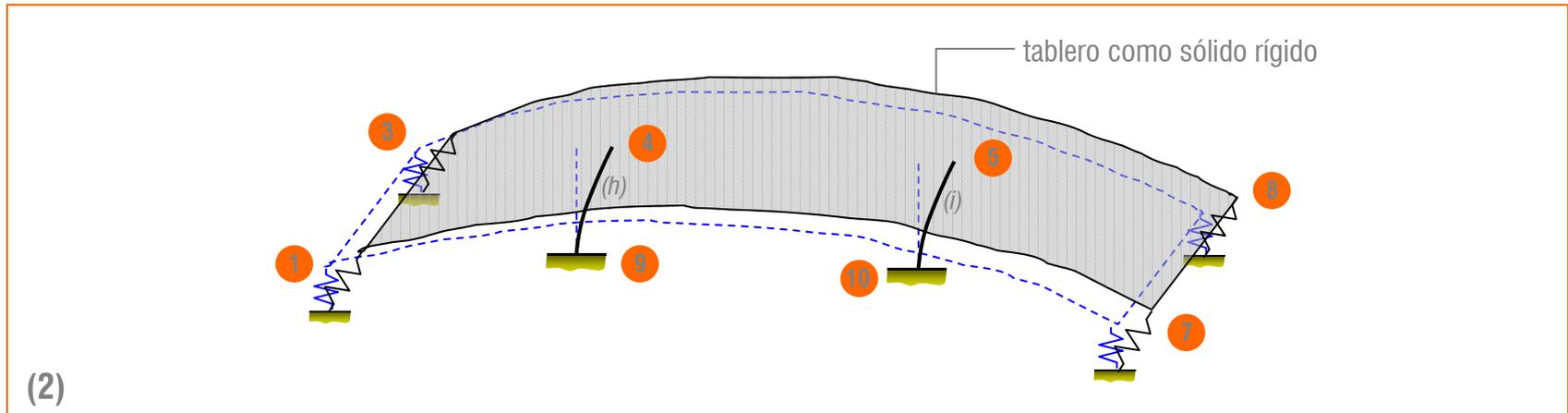
<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

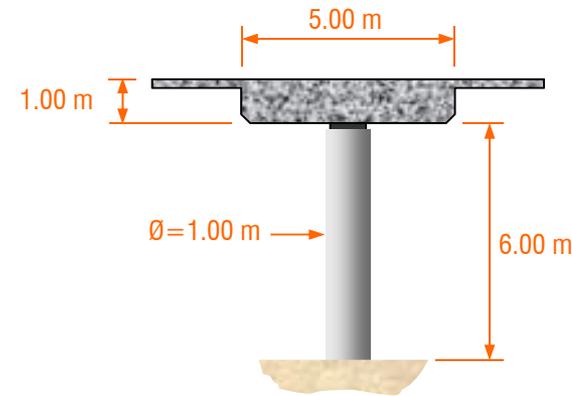
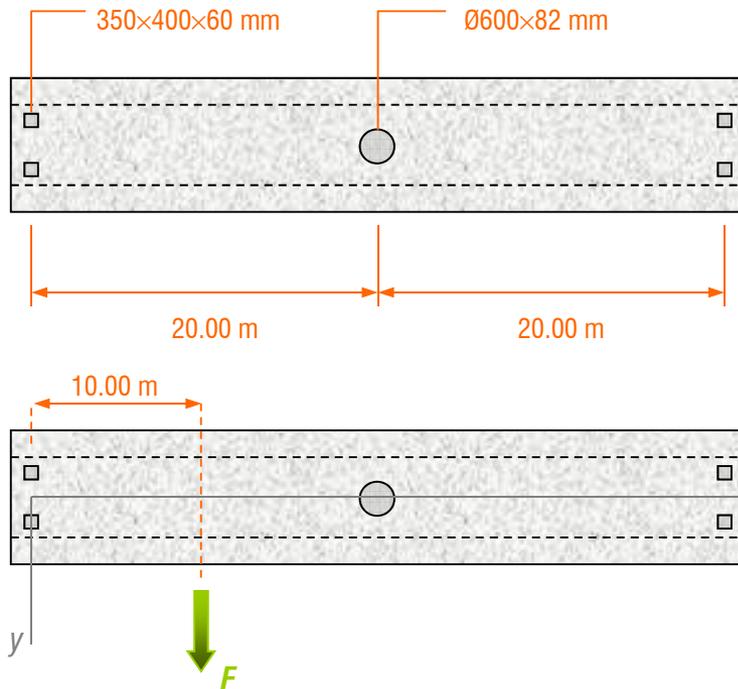
- **DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN PILAS:** cálculo aproximado



- Las **acciones gravitatorias** se tratan **idealizando las condiciones de apoyo**, cuidando de coartar al menos el desplazamiento de sólido rígido (*con tres componentes de traslación y tres componentes de rotación*), mientras que las (2) **acciones transversales** se analizan suponiendo el **tablero perfectamente rígido** (un movimiento de sólido rígido del tablero) y **subestructuras deformables**

### 03 Diseño de subestructuras

- Interacción subestructuras-tablero: un caso particular como introducción a su evaluación



	$E_c$	$G_N$
cargas instantáneas	$E_0$	$G_0$
cargas de larga duración	$E_0/(1 + \varphi_\infty)$	$G_0/2$

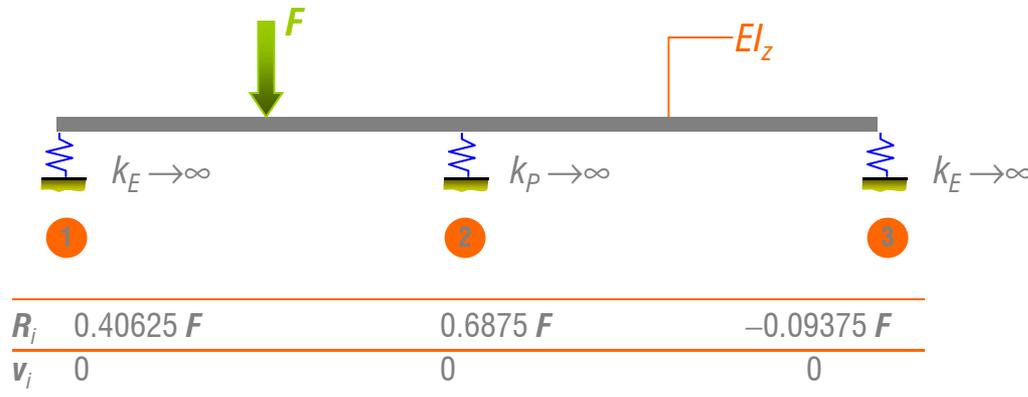
$G_0 = 2 \text{ Mpa}$   
 $E_0 = 40 \text{ GPa}$

- Se despreciará la coacción a la rotación  $\theta_z$  debida al desdoblamiento de los neoprenos en estribos

## 03 Diseño de subestructuras

- *Interacción subestructuras-tablero*: un caso particular como introducción a su evaluación

I. DESPRECIANDO INTERACCIÓN, apoyos ideales y tablero deformable



Solución de prontuario

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

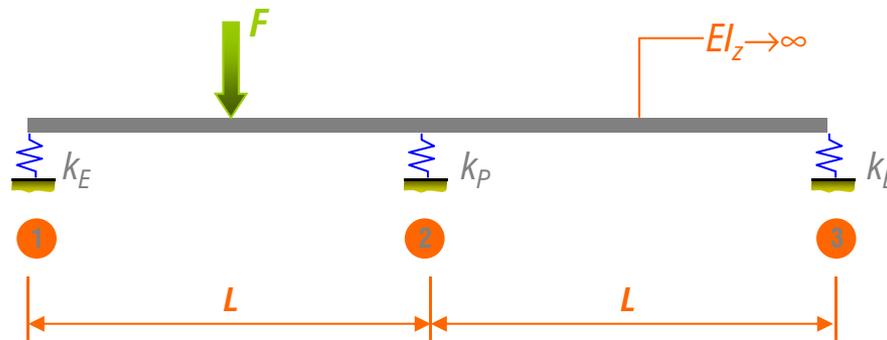


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- *Interacción subestructuras-tablero*: un caso particular como introducción a su evaluación

## II. DESPRECIANDO INTERACCIÓN, apoyos deformables y tablero rígido



## a) Equilibrio

$$F + \sum_{i=1}^3 R_i = 0$$

$$\frac{L}{2} F + \sum_{i=1}^3 \xi_i L R_i = 0 \quad \xi_i = x_i / L$$

## b) Movimiento de sólido rígido

$$\hat{v}_i = \hat{v}_1 + \xi_i L \hat{\theta}_z$$

## c) Deformación de los apoyos

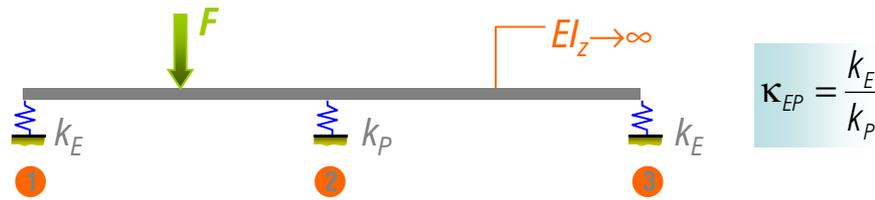
$$F_i = k_i \hat{v}_i, \quad F_i = -R_i$$

Sistema de 7 ecuaciones y 7 incógnitas

## 03 Diseño de subestructuras

- *Interacción subestructuras-tablero*: un caso particular como introducción a su evaluación

II. DESPRECIANDO INTERACCIÓN, apoyos deformables y tablero rígido



$R_i$	$-\frac{1+6\kappa_{EP}}{1+2\kappa_{EP}} \frac{F}{4}$	$-\frac{1}{1+2\kappa_{EP}} F$	$\frac{1-2\kappa_{EP}}{1+2\kappa_{EP}} \frac{F}{4}$
$\hat{V}_i$	$\frac{1+6\kappa_{EP}}{1+2\kappa_{EP}} \frac{F}{4k_E}$	$\frac{1}{1+2\kappa_{EP}} \frac{F}{k_P}$	$-\frac{1-2\kappa_{EP}}{1+2\kappa_{EP}} \frac{F}{4k_E}$

$$\hat{\theta}_z = -\frac{F}{4k_E L}$$

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>

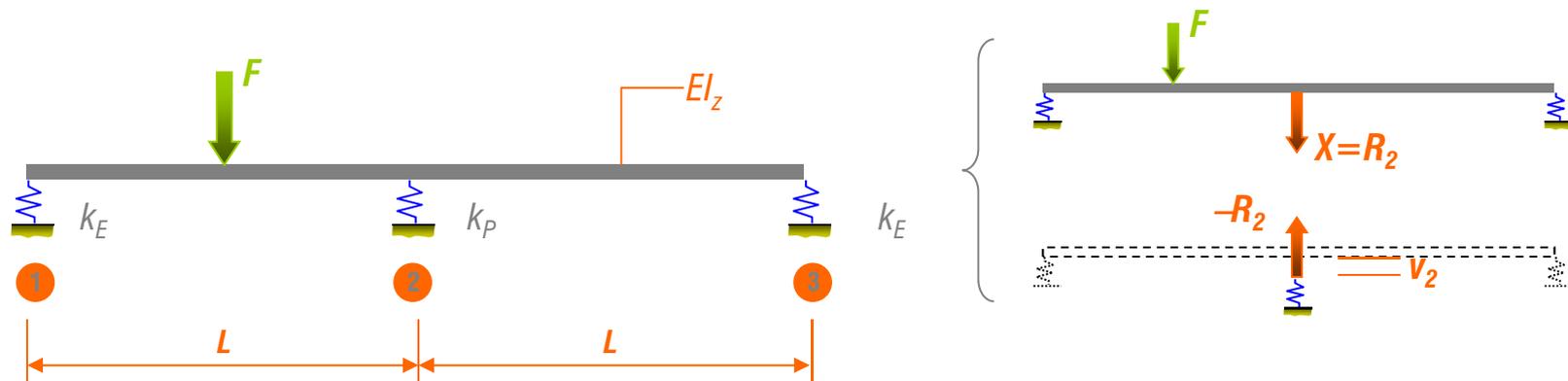


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

- *Interacción subestructuras-tablero*: un caso particular como introducción a su evaluación

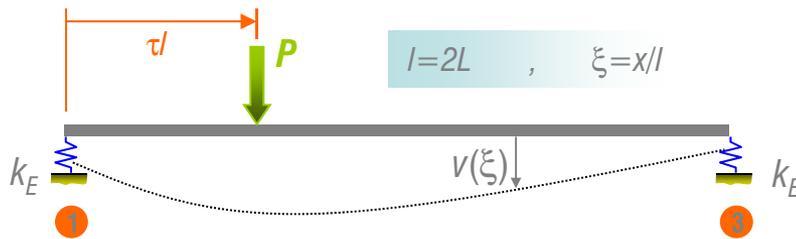
### III. CON INTERACCIÓN, en flexibilidad por subestructuras



## 03 Diseño de subestructuras

- **Interacción subestructuras-tablero:** un caso particular como introducción a su evaluación

III. CON INTERACCIÓN, en flexibilidad por subestructuras



$$v(\xi) = \frac{Pl^3}{6EI_z} \tau(1-\xi)[1-\tau^2 - (1-\xi)^2] + \frac{P}{k_E} [(1-\xi)(1-\tau) + \xi\tau]$$

elástica

sólido rígido por descenso de los apoyos en estribos

▪ Solución inicial

$$v^0(\xi) = v(\xi)|_{\tau=\frac{1}{4}}^{P=F} = \frac{FL^3}{3EI_z} (1-\xi) \left[ \frac{15}{16} - (1-\xi)^2 \right] + \frac{F}{k_E} \left[ \frac{3}{4} - \frac{\xi}{2} \right]$$

▪ Solución complementaria

$$v^*(\xi) = v(\xi)|_{\tau=\frac{1}{2}}^{P=1} = \frac{2L^3}{3EI_z} (1-\xi) \left[ \frac{3}{4} - (1-\xi)^2 \right] + \frac{1}{2k_E}$$

▪ Ecuación de compatibilidad

$$v|_{\xi=\frac{1}{2}} = v^0|_{\xi=\frac{1}{2}} + R_2 v^*|_{\xi=\frac{1}{2}} = v_2 = -\frac{R_2}{k_p}$$

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ **Interacción subestructuras-tablero:** un caso particular como introducción a su evaluación

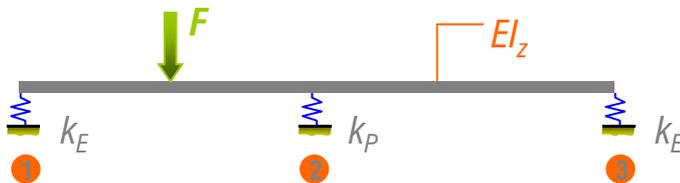
III. CON INTERACCIÓN, en flexibilidad por subestructuras

▪ Solución

$$R_2 = -\frac{v^0|_{\xi=\frac{1}{2}}}{\frac{1}{k_p} + v^*|_{\xi=\frac{1}{2}}} = -\frac{0.6875 \frac{L^3}{6EI_z} + \frac{1}{2k_E}}{\frac{1}{k_p} + \frac{L^3}{6EI_z} + \frac{1}{2k_E}} F = -\frac{1+0.6875\kappa_{ED}}{1+2\kappa_{EP} + \kappa_{ED}} F \quad \text{con} \quad \kappa_{EP} = \frac{k_E}{k_p}, \quad \kappa_{ED} = \frac{k_E}{3EI_z/L^3}$$

y por equilibrio

$$R_3 = -\frac{1}{2} \left( R_2 + \frac{F}{2} \right), \quad R_1 = -(F + R_2 + R_3)$$



$$R_i \quad \begin{array}{ccc} -\frac{1+6\kappa_{EP}+1.625\kappa_{ED}}{4+8\kappa_{EP}+4\kappa_{ED}} F & -\frac{1+0.6875\kappa_{ED}}{1+2\kappa_{EP} + \kappa_{ED}} F & \frac{1-2\kappa_{EP}+0.375\kappa_{ED}}{4+8\kappa_{EP}+4\kappa_{ED}} F \end{array}$$

▪ Se comprueba fácilmente que el caso I (sin interacción, apoyos ideales y tablero deformable) satisface la condición  $\kappa_{ED} \rightarrow \infty$  mientras que el caso II (sin interacción, tablero rígido) corresponde a  $\kappa_{ED} = 0$

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ **Interacción subestructuras-tablero:** un caso particular como introducción a su evaluación

### IV. APLICACIÓN NUMÉRICA

▪ Tablero:  $I_z = \frac{1}{12} hB^3 = \frac{125}{12} \text{ m}^4$ ,  $\frac{3E_c I_z}{L^3} = 156.25 \text{ kN/mm}$

▪ Estribos (solo los neoprenos):  $k_E = 2G_N \frac{A \times B}{e} = 2 \times 2 \times \frac{350 \times 400}{60} = 9.3333 \text{ kN/mm}$

▪ Pila:  $k_N = G_N \frac{\pi \phi^2 / 4}{e} = 2 \times \frac{\pi 600^2 / 4}{82} = 6.8962 \text{ kN/mm}$

$k_s = \frac{3E_c I_s}{H^3} = 27.2701 \text{ kN/mm}$

$\frac{1}{k_p} = \frac{1}{k_N} + \frac{1}{k_s} \Rightarrow k_p = \frac{k_N \times k_s}{k_N + k_s} = 5.5041 \text{ kN/mm}$

	$R_1/F$	$R_2/F$	$R_3/F$	$v$
Caso I	0.40625	0.68750	-0.09375	0 consistentes ( $v_i = -R_i/k_i$ )
Caso II	0.63614	0.22772	0.13614	
Caso III	0.63305	0.23389	0.13305	

▪ Conviene anotar que el caso II (sin interacción, tablero rígido) aproxima correctamente el caso III (con interacción) debido a que en general  $\kappa_{ED}$  adopta valores pequeños (en el ejemplo  $\kappa_{ED} < 6\%$ , aún habiendo despreciado la deformabilidad del estribo y su cimentación)

<3.2.3 Morfología y proyecto de pilas>

<3.2 CONCEPCIÓN DE PILAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

□ La última parte del tema dedicado a las subestructuras trata de los **aparatos de apoyo** y **juntas de dilatación**. Estos dos elementos se han excluido voluntariamente de los *equipamientos* por su función esencialmente estructural: los aparatos de apoyo y las juntas de dilatación **materializan el tipo de conexión** (o desconexión) impuesta **entre tablero y subestructuras**. Por lo tanto su concepción estará íntimamente ligada al comportamiento mecánico longitudinal del sistema primario dispuesto

□ Dentro de esta sección se pretende:

- consolidar la íntima relación existente entre el **diseño** de los aparatos de apoyo/juntas de dilatación y los **movimientos** del tablero
- presentar las distintas **tipologías** existentes, exponiendo sus principales características de funcionamiento y los criterios de dimensionamiento correspondientes
- desarrollar con mayor detalle el cálculo de los **aparatos de apoyo de neopreno zunchado**, dispositivo mayoritariamente adoptado en los proyectos de puentes contemporáneos

<3.3.0 Motivación>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>

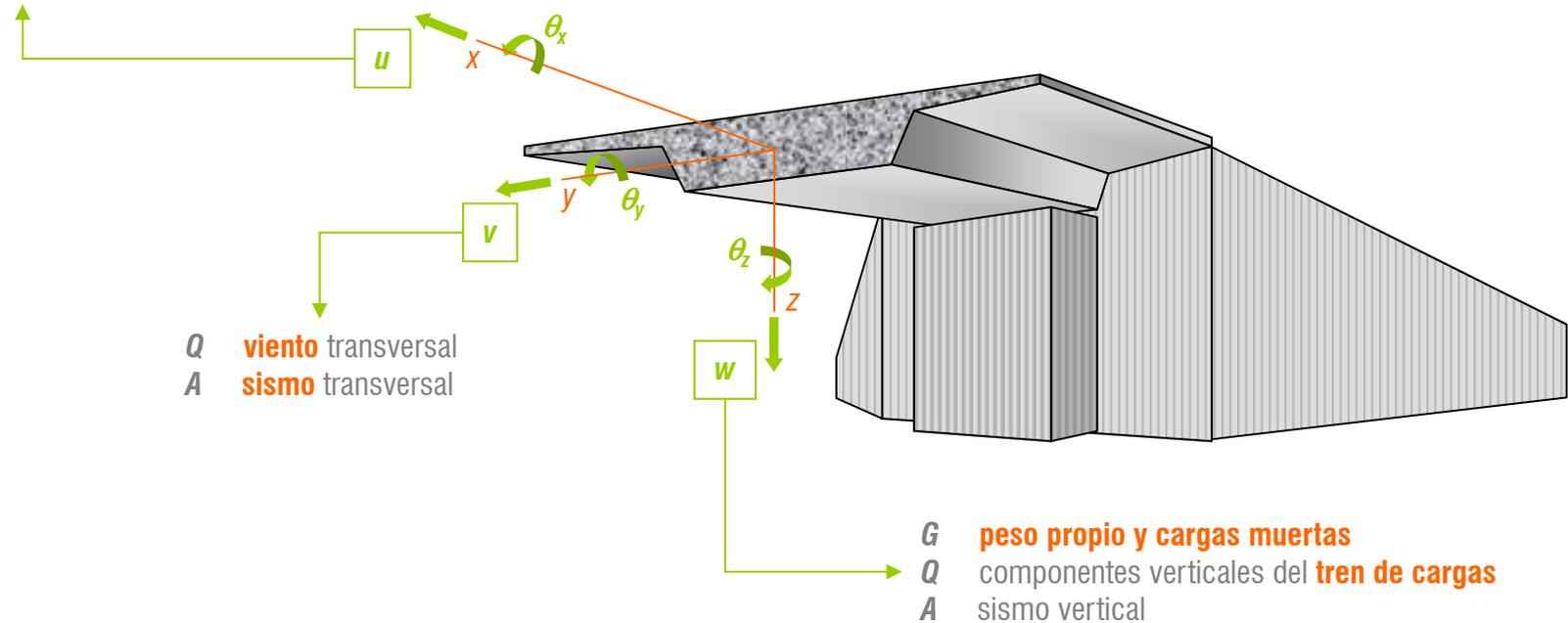


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

### 03 Diseño de subestructuras

$G^*$  pretensado, reología  
 $Q$  **temperaturas**, frenado  
 $A$  sismo longitudinal

☐ Acciones dominantes en cada uno de los distintos desplazamientos del tablero



<3.3.1 Desplazamientos en las estructuras>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



## 03 Diseño de subestructuras

### □ TIPOLOGÍA DE APARATOS DE APOYO

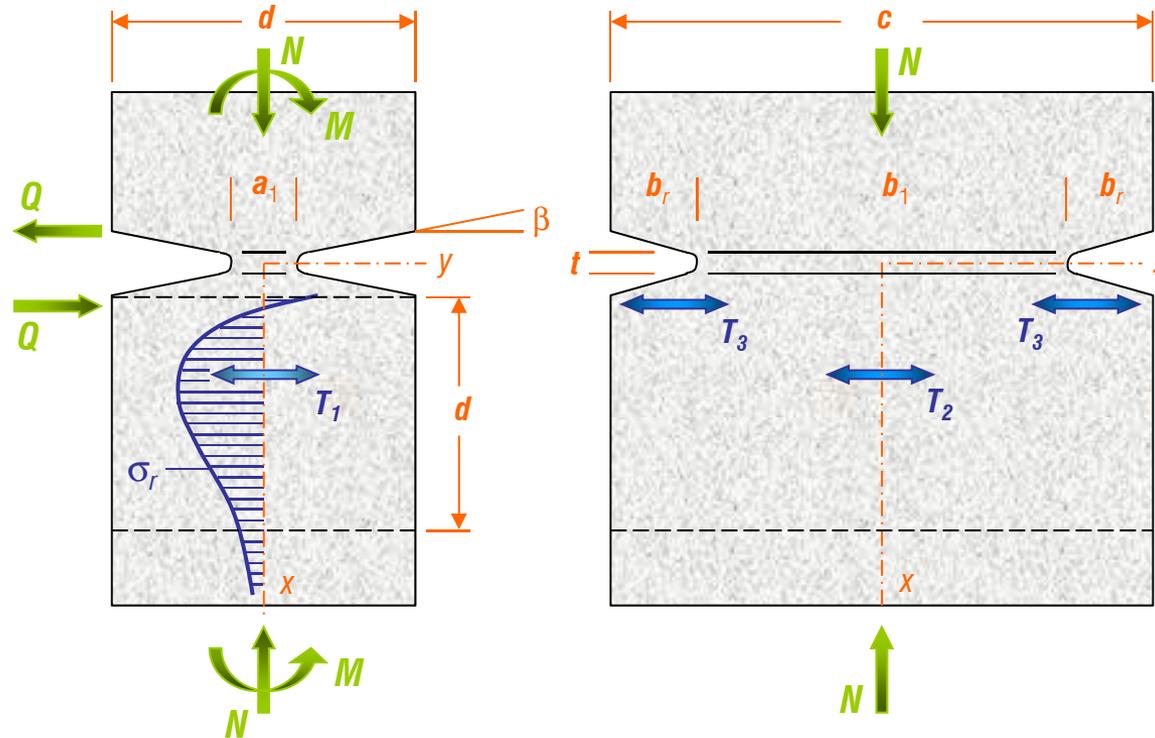
- (1) Rótulas de hormigón
- (2) Aparatos de apoyo metálicos
- (3) Apoyos de neopreno zunchado
- (4) Apoyos de neopreno teflón
- (5) Apoyos de neopreno embutido

### □ DISEÑO

- (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado
- (7) Armaduras de refuerzo para cargas concentradas
- (8) Detalles de puesta en obra de los aparatos de apoyo

## 03 Diseño de subestructuras

(1) *Rótula de hormigón* (o rótula Freyssinet): sollicitación



<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

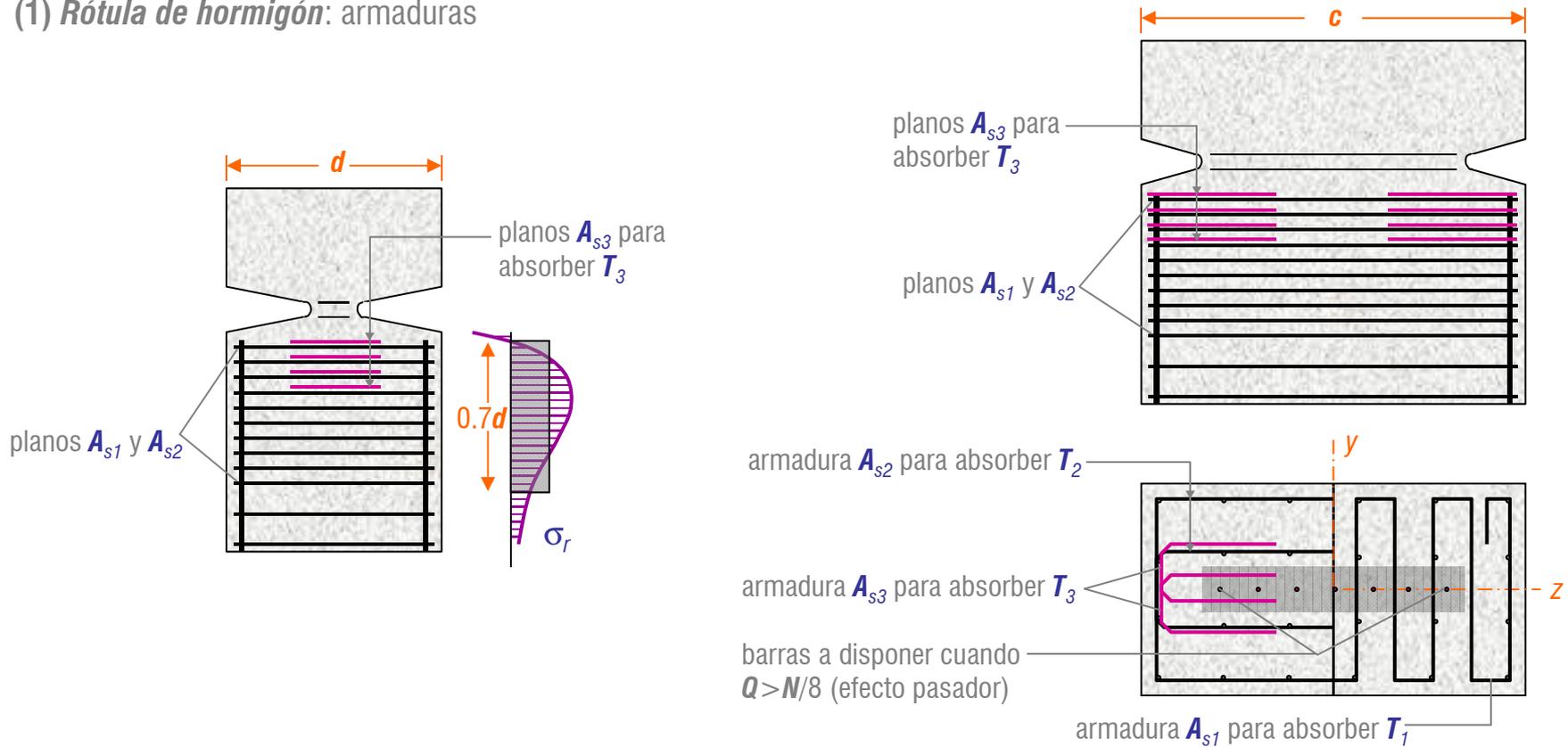
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (1) Rótula de hormigón: armaduras



<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (1) Rótula de hormigón: dimensionamiento

#### (A) Restricciones geométricas

$$a_1 \leq 0.3d, \quad \tan\beta \leq 0.1$$

$$t \leq 0.2a_1 \text{ y } 20 \text{ mm}$$

$$b_1 \geq 0.7a_1 \text{ y } 50 \text{ mm}$$

#### (B) CÁLCULO de la rótula plástica

##### a) Área mínima de la rótula

$$a_1 b_1 \geq \frac{943 N_{k \max}}{f_{ck} \left[ 1 + \lambda \left( 1 - 0.41 \eta_{ef} / \sqrt{f_{ck}} \right) \right]}$$

##### b) Área máxima de la rótula

$$a_1 b_1 \leq \frac{2260 N_{kG}}{\theta_{ef} \sqrt{f_{ck}}}$$

##### c) Rotación máxima

$$\theta_{\max} = \pm \frac{2277 N_k}{a_1 b_1 \sqrt{f_{ck}}} \leq 15, \quad N_{kG} \leq N_k \leq N_{k \max}$$

##### d) Comprobación de cortante máximo

d.1)  $Q_k \leq 0.125 N_k$

d.2)  $0.125 N_k \leq Q_k \leq 0.25 N_k$

d.3)  $0.25 N_k \leq Q_k$

no requiere comprobación ■

$A_s \geq 12.5 Q_k$ , en plano medio de la rótula ■

caso problemático que requiere **pretensar** la rótula para reducir la relación  $Q/N$  ■

### <3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

### <3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



## 03 Diseño de subestructuras

### (1) Rótula de hormigón: dimensionamiento

#### (B) CÁLCULO de la rótula plástica (continuación)

##### e) Dimensionamiento de la armadura

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 167N_{k\max} \\ A_{s2} &= 167(1-b_1/c)N_{k\max} \\ A_{s3} &= 167(a_1/b_1)N_{k\max} \end{aligned}$$

##### f) Máximo momento transmitido por la rótula

$$M = a_1 N_k \left[ 0.5 - 5.6 \left( \frac{N_k}{a_1 b_1 \theta_{ef} \sqrt{f_{ck}}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] 10^{-3}$$

UNIDADES:

dimensiones  $a_1, b_1 \dots$  en mm

áreas  $A_{s1}, A_{s2} \dots$  en mm<sup>2</sup>

fuerzas  $N_k, Q_k \dots$  en kN, momentos  $M$  en m.kN

rotaciones  $\theta$  en ‰

## 03 Diseño de subestructuras

### (1) Rótula de hormigón: nomenclatura

#### (C) NOMENCLATURA

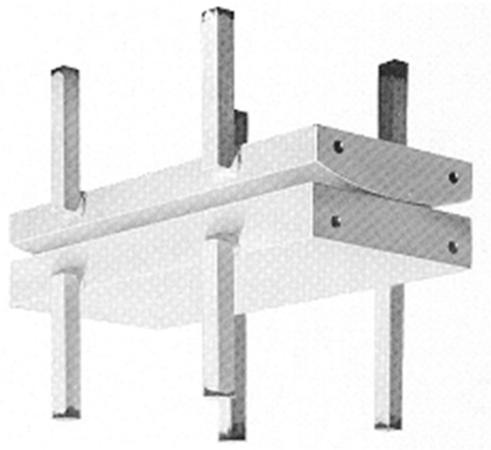
$a_1 \times b_1$	dimensiones de la rótula en planta (mm)
$N_{kmax}$	valor característico del máximo esfuerzo axil (kN)
$N_{kG}$	valor característico del esfuerzo axil debido a las cargas permanentes ( $G$ ) y ( $G^*$ ), en kN
$f_{ck}$	resistencia característica del hormigón (MPa)
$\theta_G$	ángulo girado por la rótula debido a las cargas permanentes ( $G$ ) y ( $G^*$ ), en ‰
$\theta_Q$	ángulo girado por la rótula debido a las cargas variables ( $Q$ ), en ‰
$\theta_{ef}$	$0.5 \theta_G + \theta_Q$
$\lambda$	$1.2 - 4a_1/d \leq 0.8$
$\eta$	$N_{kmax}/N_{kG}$

## 03 Diseño de subestructuras

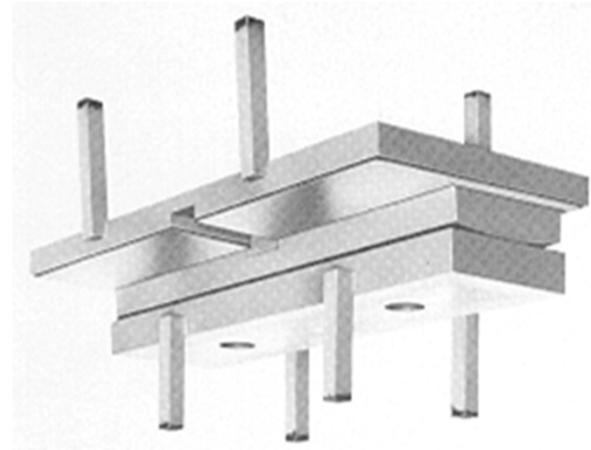
### (2) Aparatos de apoyo metálicos

- ❑ Insustituibles hace años pero actualmente *en desuso*, en favor de otros dispositivos más económicos y más sencillos de poner en obra y de conservar
- ❑ Se caracterizan por el número y tipo de *desconexiones* asociadas, resultando:

(A) *Rótulas lineales*: el acero de las superficies de contacto se trata con cromo endurecido



Rótula fija ( $M_y=0$ )

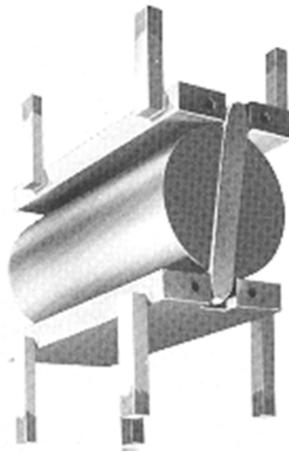


Rótula deslizante en una dirección ( $R_x=0$  y  $M_y=0$ )

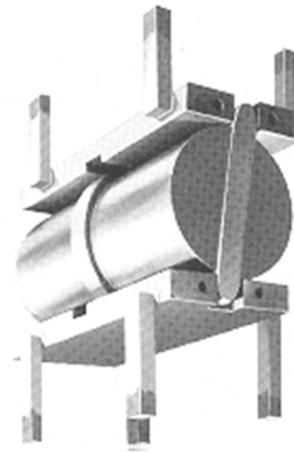
## 03 Diseño de subestructuras

### (2) Aparatos de apoyo metálicos

(B) *Apoyos de rodillo*: pueden disponer de barra guía, adoptando este dispositivo cuando se debe resistir grandes cargas transversales, por encima de la capacidad del rozamiento en esta dirección. Se componen de un rodillo de diámetro  $D$  y longitud  $L$  entre placas de apoyo, aumentando linealmente su capacidad de carga con ambos parámetros. Ambos elementos están nuevamente tratados con cromo duro y el coeficiente de rozamiento a la rodadura no debe superar el 2%



Rodillo simple

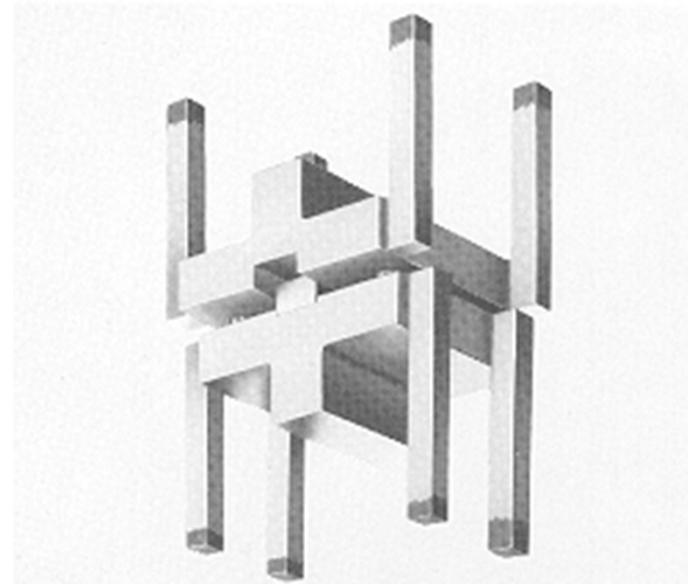
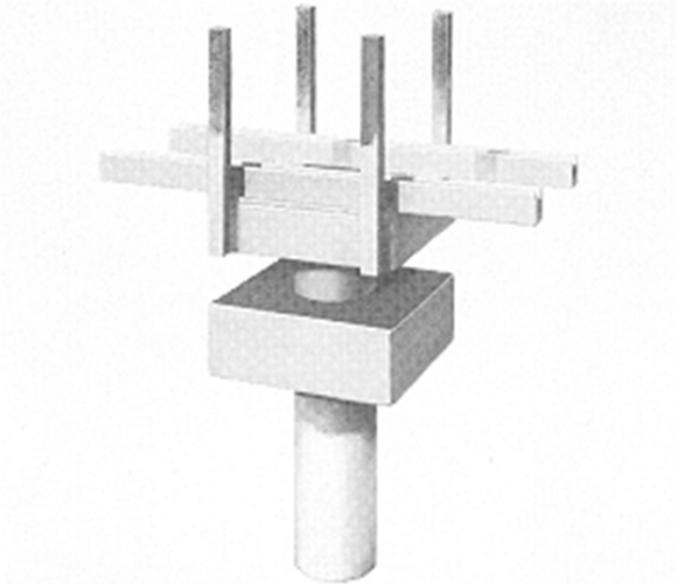


Rodillo guiado ( $v=0$ )

## 03 Diseño de subestructuras

### (2) Aparatos de apoyo metálicos

(C) **Topes y guías**: su misión consiste únicamente en impedir total o parcialmente las traslaciones del tablero en un punto determinado, debiendo **dimensionar** el sistema para las **reacciones horizontales movilizadas**



Tope y guía RESTON-PROCEQ

<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

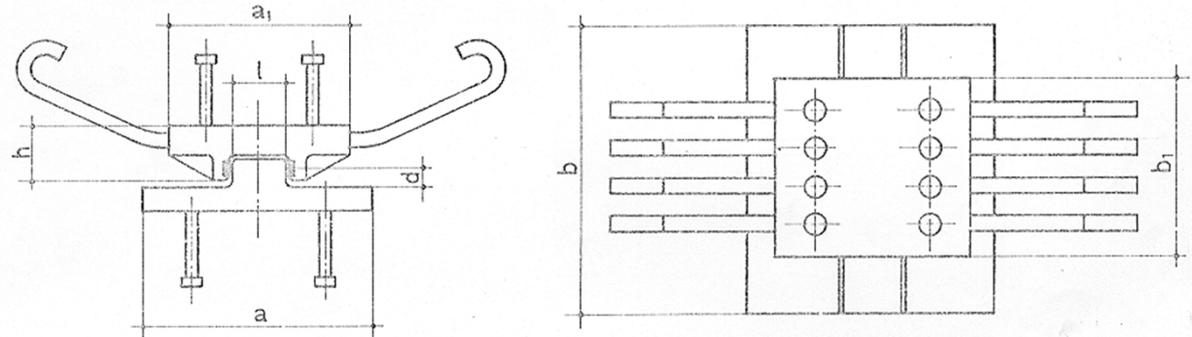
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (2) Aparatos de apoyo metálicos



Desplazamiento  $\pm 50$  (total 100 mm)

Tipo	$F_y$ (Ton.)	a (mm)	$b_1$ (mm)	$a_1$ (mm)	b (mm)	d (mm)	h (mm)	l (mm)	PERNOS de ANCLAJE		
									superior	lateral	inferior
G-25	25	250	300	180	400	12.5	26	42.5	4Ø15	4Ø20	6Ø20
G-50	50	300	400	215	500	18.5	31	64	4Ø15	4Ø20	6Ø20
G-75	75	350	500	250	600	22	36	76.5	6Ø20	6Ø25	8Ø25
G-100	100	400	600	285	700	24.5	41	85	6Ø20	6Ø25	8Ø25
G-150	150	500	800	355	900	27.5	46	96	8Ø25	8Ø31	10Ø31
G-200	200	600	1000	425	1100	29.5	50	102	8Ø31	8Ø34	10Ø34

Guía SLIDE-STRONGHOLD, geometría y datos para el dimensionamiento

<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>

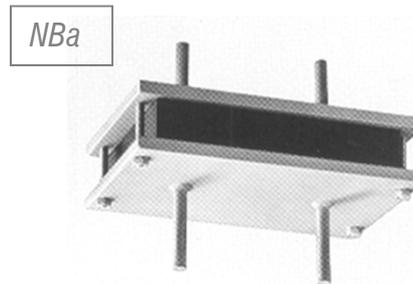
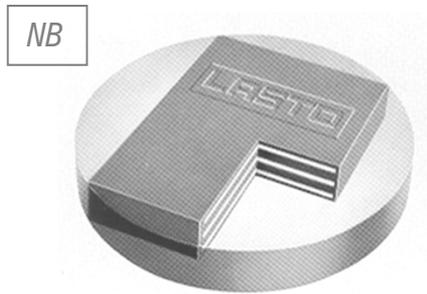


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (3) Apoyos de neopreno zunchado

- ❑ Son los más empleados en la actualidad. Las chapas de acero intercaladas **coartan** la dilatación del caucho
- ❑ En este tipo de apoyos, no cabe aplicar la distinción de **fijos** o **móviles**. Son apoyos **elásticos** de gran deformabilidad en su plano debido al bajo valor del módulo de elasticidad transversal  $G$  del neopreno
- ❑ Si la presión media transmitida para carga vertical  $Q_z$  **mínima** resulta insuficiente, puede ser necesario anclar el aparato de apoyo, con el fin de evitar su **reptado**. Esta disposición también resulta necesaria si no se moviliza suficiente rozamiento en las caras de apoyo (ver COMPROBACIÓN II)



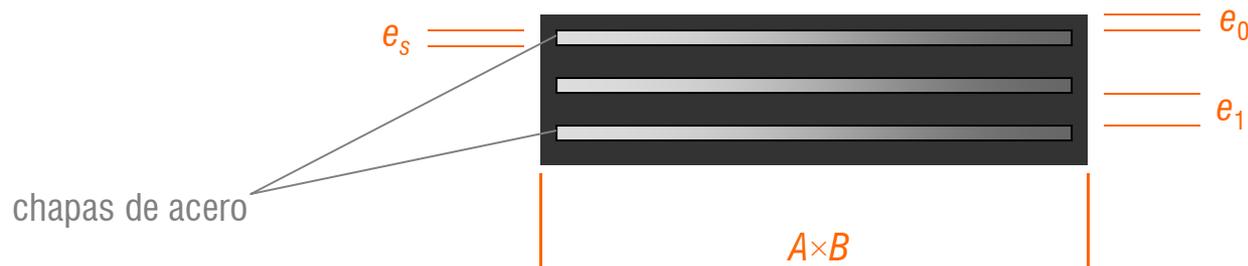
Apoyo de neopreno zunchado simple (NB), anclado (NBa) y fijo en una dirección (NBe), nomenclatura de la firma PROCEQ

## 03 Diseño de subestructuras

### (3) Apoyos de neopreno zunchado

□ DENOMINACIÓN STANDARD de los apoyos elastoméricos:  $A \times B \times n(e_1 + e_s)$ , siendo:

- $A \times B$  las dimensiones en planta del apoyo (en general  $A \leq B$  siendo  $A$  el lado paralelo al eje del tablero)
- $n$  el número de capas interiores de elastómero
- $e_1$  el espesor de cada capa interior de elastómero y  $e_s$  el espesor de las chapas de acero

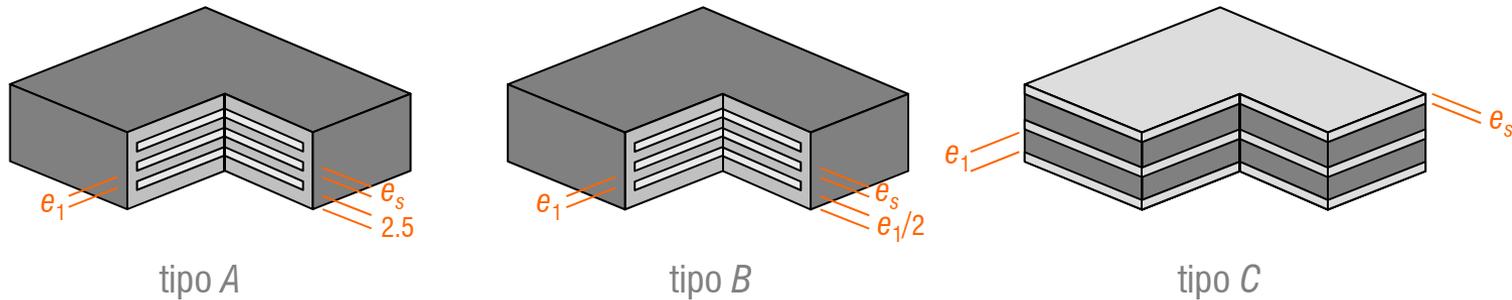


**espesor total** del aparato de apoyo:  $e_{total} = ne_1 + (n + 1)e_s + 2e_0$

## 03 Diseño de subestructuras

### (3) Apoyos de neopreno zunchado

□ TIPOS DE APOYOS DE NEOPRENO ZUNCHADO según la nomenclatura de las “Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los aparatos elastoméricos para puentes de carretera” del MOPU (1982)



	tipo A	tipo B	tipo C
$e_0$	2.5 mm	$0.5 e_1$	0
$e_N$	$ne_1 + 5$ mm	$(n+1)e_1$	$ne_1$
$e_{total}$	$ne_1 + (n+1)e_s + 5$ mm	$(n+1)(e_1 + e_s)$	$ne_1 + (n+1)e_s$

$n$ : número de capas interiores de elastómero

#### <3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

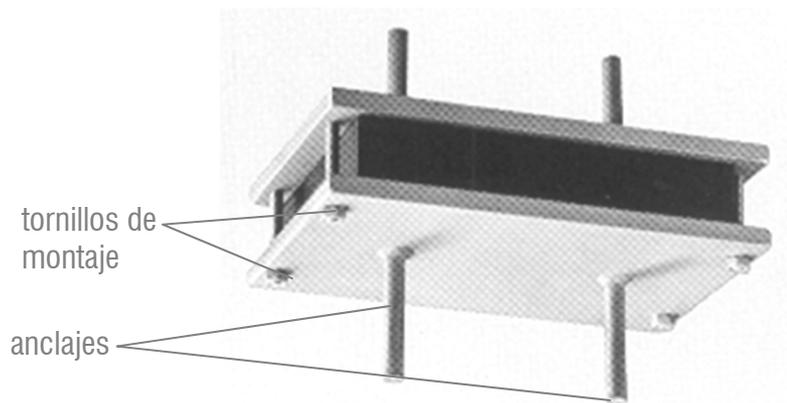
### <3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



## 03 Diseño de subestructuras

### (3) Apoyos de neopreno zunchado

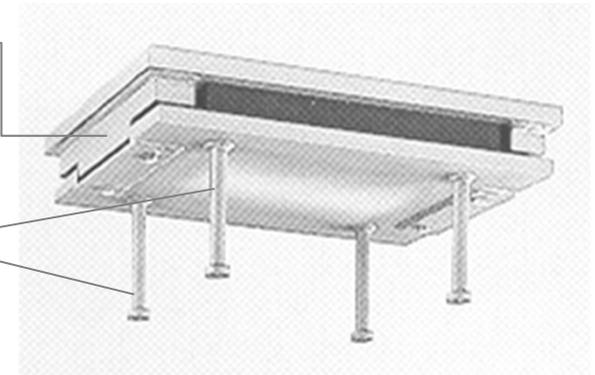
❑ DISPOSITIVOS DE ANCLAJE mediante *pernos*, *tacos* de sujeción lateral o *topes*. Estos son necesarios para evitar el *reptado* ( $\sigma_{min}$  insuficiente) o el *deslizamiento* ( $\mu Q_z$  insuficiente), o bien para materializar un apoyo fijo siempre que las reacciones horizontales  $Q_x$ ,  $Q_y$  sean moderadas.



apoyo elastomérico armado **anclado**

tope unidireccional

anclajes



apoyo elastomérico armado **fijo en una dirección**

<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>

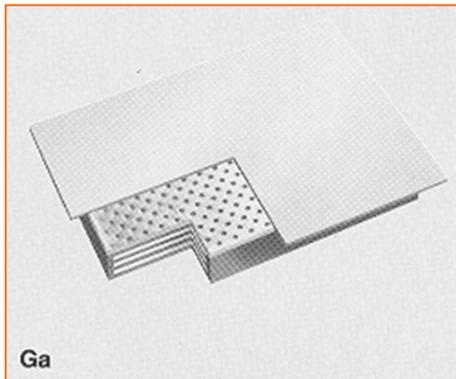


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (4) Apoyos de neopreno teflón

- ❑ APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO DESLIZANTE (zunchado) que permite *grandes desplazamientos horizontales del tablero*, transmitiendo *fuerzas reducidas a las subestructuras* ( $\mu=2$  a 6%)
- ❑ FRENTE A CARGAS VERTICALES Y RESPECTO A LAS ROTACIONES, tiene el mismo comportamiento que un apoyo elastomérico ordinario, armado si corresponde

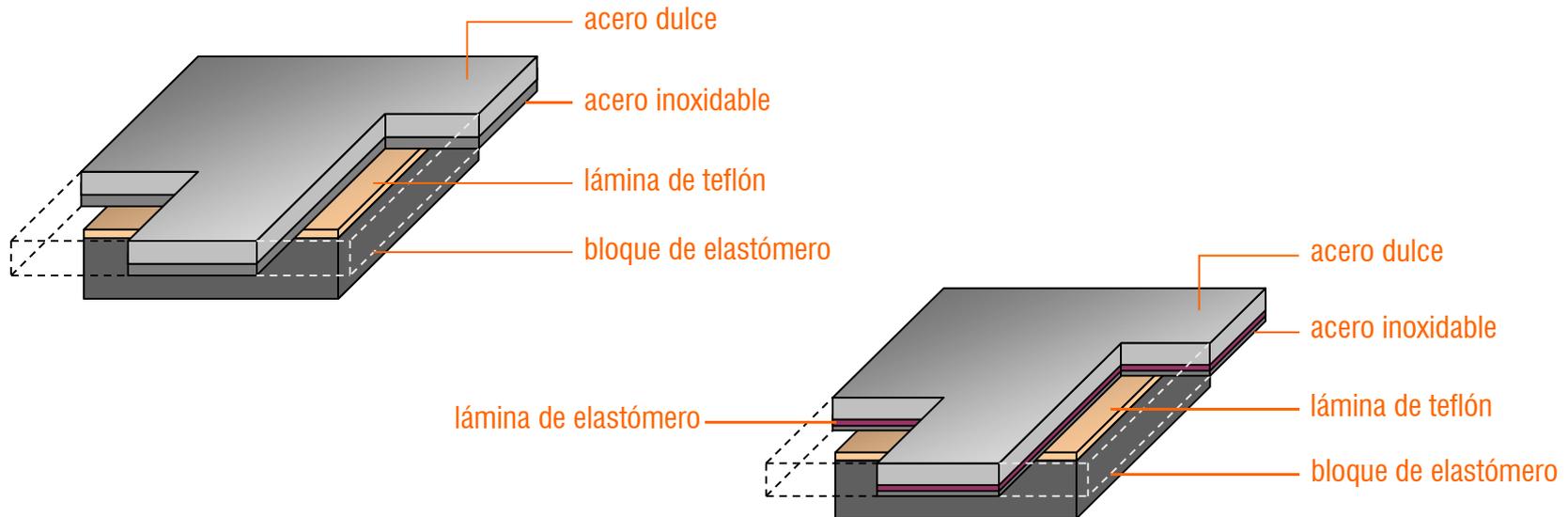


Apoyo de neopreno teflón deslizante (Ga y KGa) o fijo en una dirección (KGe), según nomenclatura de la firma PROCEQ

## 03 Diseño de subestructuras

### (4) Apoyos de neopreno teflón

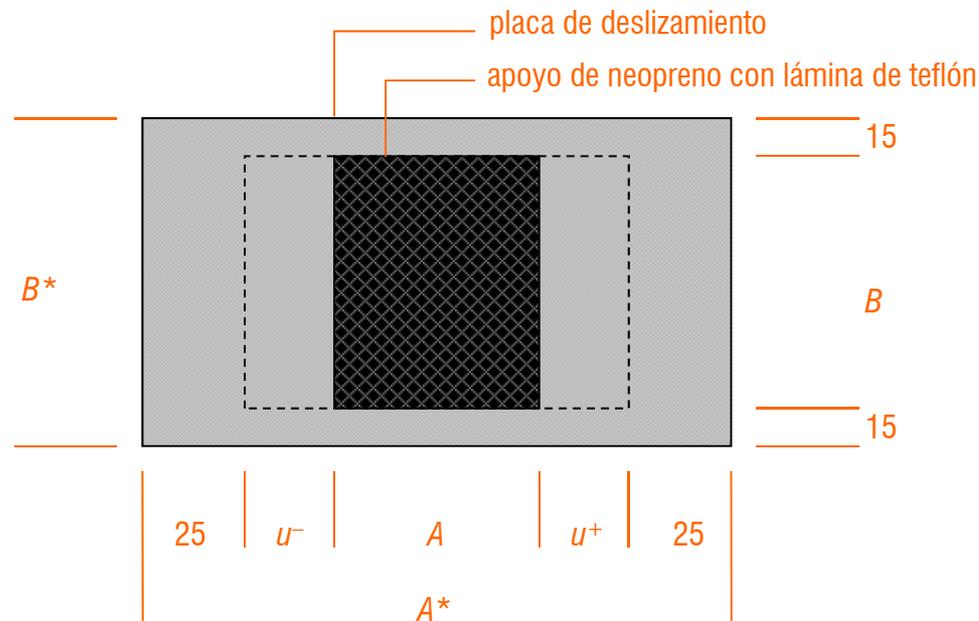
❑ ELEMENTOS CONSTITUTIVOS: la **placa deslizante** está compuesta por una **lámina de acero inoxidable** de espesor mínimo 1 mm, pegada en frío sobre una **placa de acero dulce**, o bien unida por **vulcanización** (intercalando una lámina de elastómero entre ambas). El bloque de elastómero lleva adherido una **lámina de teflón**, de espesor generalmente inferior a 1 mm



## 03 Diseño de subestructuras

### (4) Apoyos de neopreno teflón

□ DIMENSIONAMIENTO DE LA PLACA DE DESLIZAMIENTO, o *espejo*. Estas serán función de las dimensiones del bloque de elastómero y de los desplazamientos previstos



## 03 Diseño de subestructuras

### (4) Apoyos de neopreno teflón

❑ **Dimensiones en planta**  $A^* \times B^*$ :

$$A^* = A + |u^+| + |u^-| + 50 \text{ mm}$$

$$B^* = B + |v^+| + |v^-| + 50 \text{ mm}$$

Si solo se desarrollan movimientos longitudinales se dispone  $B^* = B + 30 \text{ mm}$

❑ **Coefficiente de rozamiento acero-teflón**  $\mu^*$ :

$$\mu^* = \frac{1}{100} \left( 6 - \frac{\bar{\sigma}}{4} \right)$$

con  $\bar{\sigma}$  expresada en *MPa*. La máxima reacción horizontal movilizable por el apoyo vale entonces:  $Q_H = 1.2\mu^*Q_z$

❑ **Reacciones** susceptibles de ser transmitidas a las subestructuras:  $Q_x$  y  $Q_y \leq Q_H$  (con valores concomitantes de las reacciones verticales)

## 03 Diseño de subestructuras

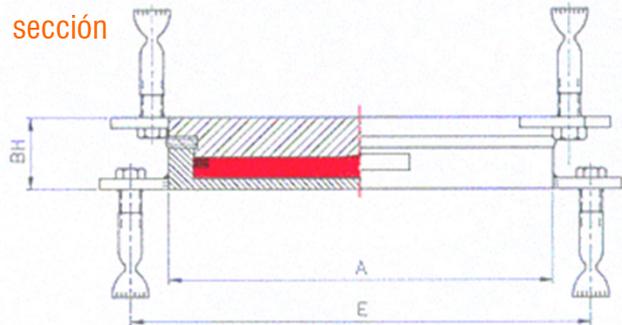
### (5) Apoyos de neopreno embutido

- ❑ ALTA CAPACIDAD DE CARGA debido a su comportamiento, análogo al de un líquido confinado (el efecto de zunchado de la carcasa metálica impide prácticamente la dilatación)
- ❑ ROTACIONES LIBRES pero desplazamientos horizontales impedidos, salvo que se liberen mediante guías u otros dispositivos\*
- ❑ CAROS pero eficientes (indicados en puentes de construcción compleja o con fuertes reacciones ~grandes luces)

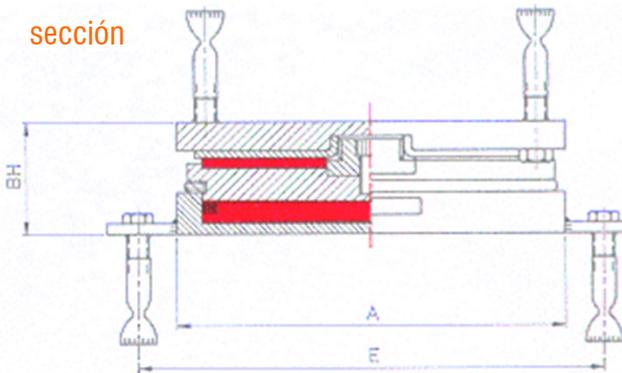


## 03 Diseño de subestructuras

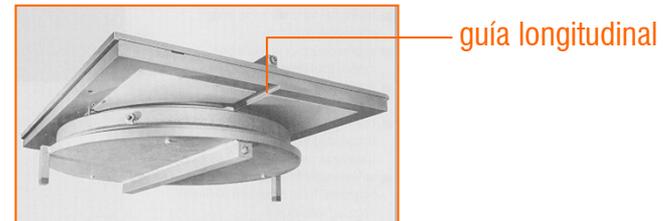
### (5) Apoyos de neopreno embutido



Apoyos de neopreno embutido **fijos** (RESTON tipo *PN*, de la firma *PROCEQ*)



Apoyos de neopreno embutido **deslizantes** (RESTON tipo *PNe*, de la firma *PROCEQ*)  
desplazamiento longitudinal *u* libre



## 03 Diseño de subestructuras

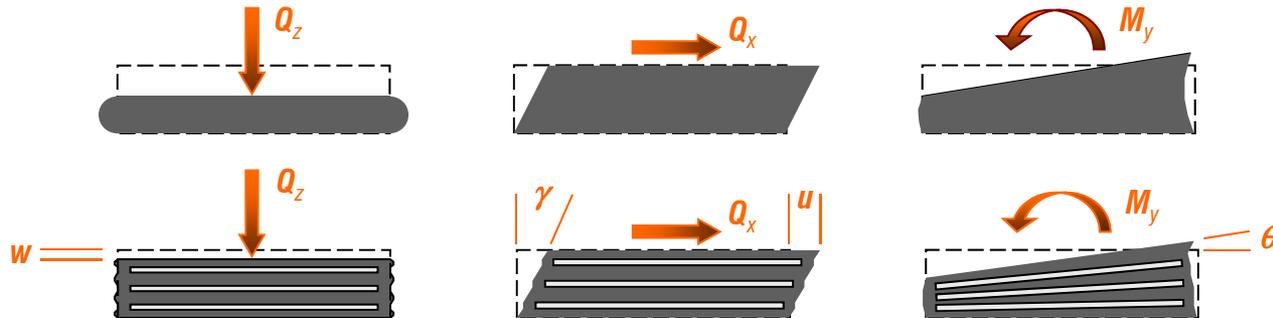
### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

- (1) **Organización y selección** de los aparatos de apoyo. Requiere adoptar una disposición en planta que coarte al menos los 6 GDLs del movimiento de sólido rígido
- (2) **Predimensionado y comprobación.**

2.1 El **predimensionamiento** se lleva a cabo recurriendo a catálogos comerciales preferiblemente con una estimación previa de  $Q_z$  y  $u$ , mientras que la **comprobación** se desarrolla en siete etapas (I a VII)

2.2 Verificación de la **seguridad al despegue** → anclaje de los apoyos afectados

### Modos elementales de deformación del apoyo sin y con armaduras



## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

#### CARACTERÍSTICAS DEL ELASTÓMERO

▪ Resistencia a la tracción mínima	16 MPa	UNE 53-510
▪ Alargamiento en rotura mínimo	400%	UNE 53-510
▪ Deformación remanente por compresión durante 22 horas a 70°C	30%	UNE 53-511
▪ Dureza Shore	55-65	UNE 53-130
▪ Resistencia al ozono	sin grietas	UNE 53-558
▪ Módulo de elasticidad transversal para cargas de larga duración $G_{\infty}$	0.8 a 1.1 MPa	
▪ Módulo de elasticidad transversal para cargas instantáneas $G_0$	$2G_{\infty}$	

#### <3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

### <3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



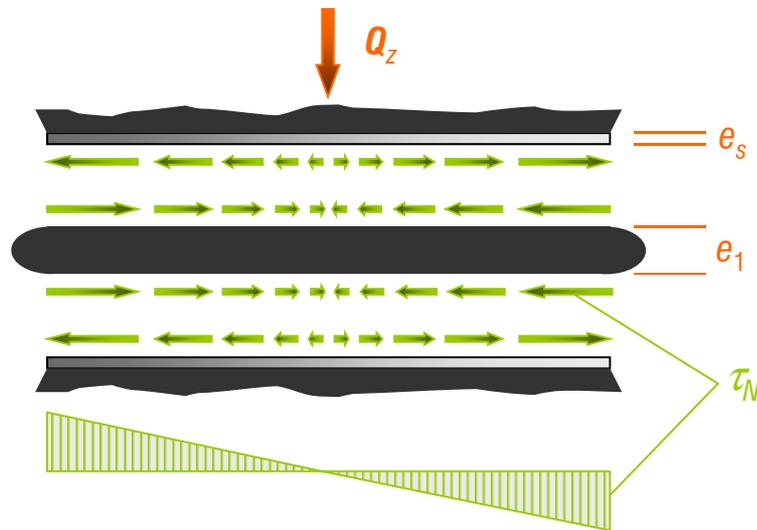
## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

#### I. COMPRESIÓN MEDIA MÁXIMA

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{Q_{zk \max}}{AB} \leq \sigma_{adm}$$

Esquema estático:



	carretera	ferrocarril
$\sigma_{adm}$	15 MPa $\leq 2G_{\infty S}$	12 MPa $\leq 2G_{\infty S}$

Tensión tangencial máxima en el neopreno:

$$\tau_{N\epsilon} = 1.5 \frac{\bar{\sigma}}{S} \leq 3G_{\infty}$$

Factor de forma del neopreno:

$$S = \frac{AB}{2(A+B)e_1}$$

## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

#### II. SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO

$$\bar{\sigma}_{\min} = \frac{Q_{zk\min}}{AB} \geq 3 \text{ MPa}$$

□ Conviene observar que tanto las “Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera (1982)” como el boletín N°4 del SETRA solo exigen  $\bar{\sigma}_{\min} \geq 2 \text{ MPa}$

□ Además,  $Q_x (Q_y) \leq \mu Q_z$  siendo  $\mu$  el coeficiente de rozamiento en el interfaz:

$$(1) \text{ hormigón-acero} \quad \mu = 0.12 + 0.2 / \bar{\sigma}$$

$$(2) \text{ hormigón-elastómero} \quad \mu = 0.10 + 0.6 / \bar{\sigma}$$

con  $Q_x (Q_y)$ ,  $Q_z$  y  $\bar{\sigma} = Q_z / AB$  concomitantes

□ Si  $1 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{\min} \leq 3 \text{ MPa}$  o bien  $Q_x (Q_y) > \mu Q_z$ , se debe disponer un **apoyo anclado**, mientras que si  $\bar{\sigma}_{\min} < 1 \text{ MPa}$ , se debe prever algún dispositivo de **anclaje del tablero**

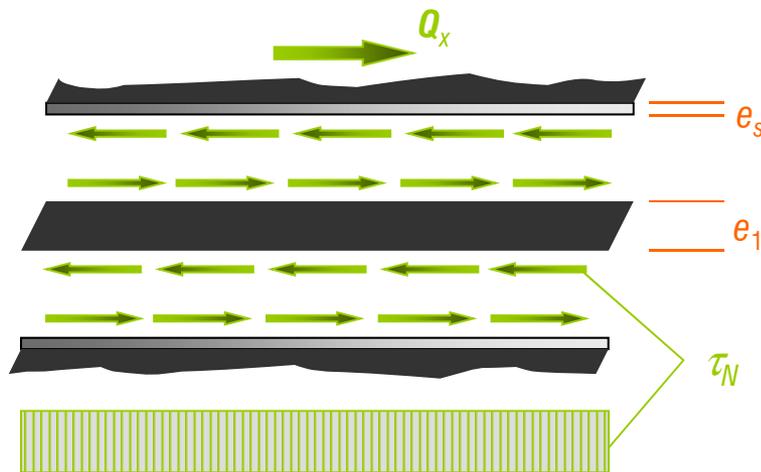
## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

#### III. DISTORSIÓN MÁXIMA ADMISIBLE

$$\tan \gamma_{\infty} = \frac{u_{\infty}}{e_N} \leq 0.5 \quad , \quad \tan \gamma = \frac{u}{e_N} \leq 0.7$$

Esquema estático:



Desplazamiento longitudinal máximo:

$$u = u_0 + u_{\infty}$$

Espesor del neopreno:

$$e_N = 2e_0 + ne_1$$

Tensión tangencial máxima en el neopreno:

$$\tau_{Ny} = \frac{Q_{xk}^{\infty} + Q_{xk}^0}{AB}$$

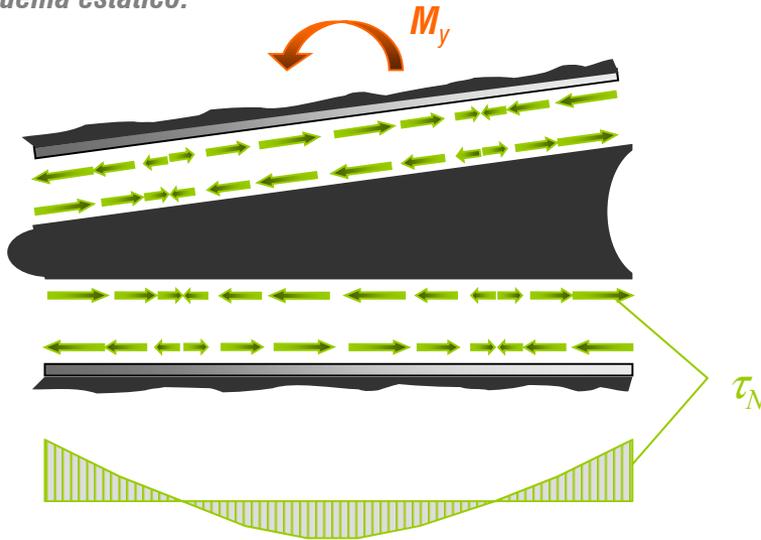
## 03 Diseño de subestructuras

## (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

## IV. ROTACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE

$$\theta_y \leq 3n \left( \frac{e_1}{A} \right)^2$$

Esquema estático:



Tensión tangencial máxima en el neopreno:

$$\tau_{N\theta} = \frac{G_{\infty}}{2} \left( \frac{A}{e_1} \right)^2 \theta_1$$

con  $\theta_1 = \theta_y/n$ . Para  $\theta_x$  se hace  $A \rightarrow B$

## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

#### V. ESTABILIDAD DEL APARATO DE APOYO

$$\frac{A}{10} \leq e_N \leq \frac{A}{5}$$

#### VI. ESPESOR DE LAS CHAPAS DE ACERO

$$e_s \geq \frac{A \bar{\sigma}_{\max}}{S \sigma_u}, \quad e_s \geq 2 \text{ mm}$$

$\sigma_u$  es el límite elástico del acero de los zunchos (acero dulce A-37):

- si  $e_s \leq 3 \text{ mm}$ ,  $\sigma_u = 220 \text{ MPa}$
- si  $e_s > 3 \text{ mm}$ ,  $\sigma_u = 240 \text{ MPa}$

#### VII. LIMITACIÓN DE TENSIÓN TANGENCIAL

$$\tau_{N\epsilon} + \tau_{N\gamma} + \tau_{N\theta} \leq 5G_{\infty}$$

## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Dimensionamiento de aparatos de apoyo de neopreno zunchado

□ DATOS PARA EL ANÁLISIS: la **matriz de flexibilidad** del aparato de apoyo de neopreno zunchado relativa a las fuerzas  $\mathbf{Q} = \{Q_x, Q_y, Q_z, M_x, M_y, M_z\}^T$  y desplazamientos  $\mathbf{u} = \{u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z\}^T$  es  $\mathbf{u} = \mathbf{S}_N \cdot \mathbf{Q}$  con:

$$\mathbf{S}_N = f_H \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \phi_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_z \end{bmatrix}$$

siendo:  $\phi_z = (1-s_0)K_1(e_1/A)^2$ ,  $\omega_x = K_2(e_1/B^2)^2$ ,  $\omega_y = K_2(e_1/A^2)^2$ ,  $\omega_z = K_3(e_1/A^2)^2$

con:  $f_H = \frac{e_N}{G_{\infty} AB}$ ,  $s_0 = \frac{\sigma_0}{\sigma}$  ( $\sigma_0 = 3 \text{ MPa}$ ,  $\bar{\sigma} = Q_z / AB$ )

B/A	1	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.5	10	$\infty$
$K_1$	2.37	2.01	1.94	1.88	1.78	1.70	1.64	1.58	1.53	1.49	1.46	1.34	1.07	1.00
$K_2$	86.2	80.4	79.3	78.4	76.7	75.3	74.1	73.1	72.2	71.5	70.8	68.3	61.9	60
$K_3$	0.141	0.165	0.171	0.177	0.187	0.196	0.204	0.211	0.218	0.224	0.229	0.250	0.312	0.333

#### <3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

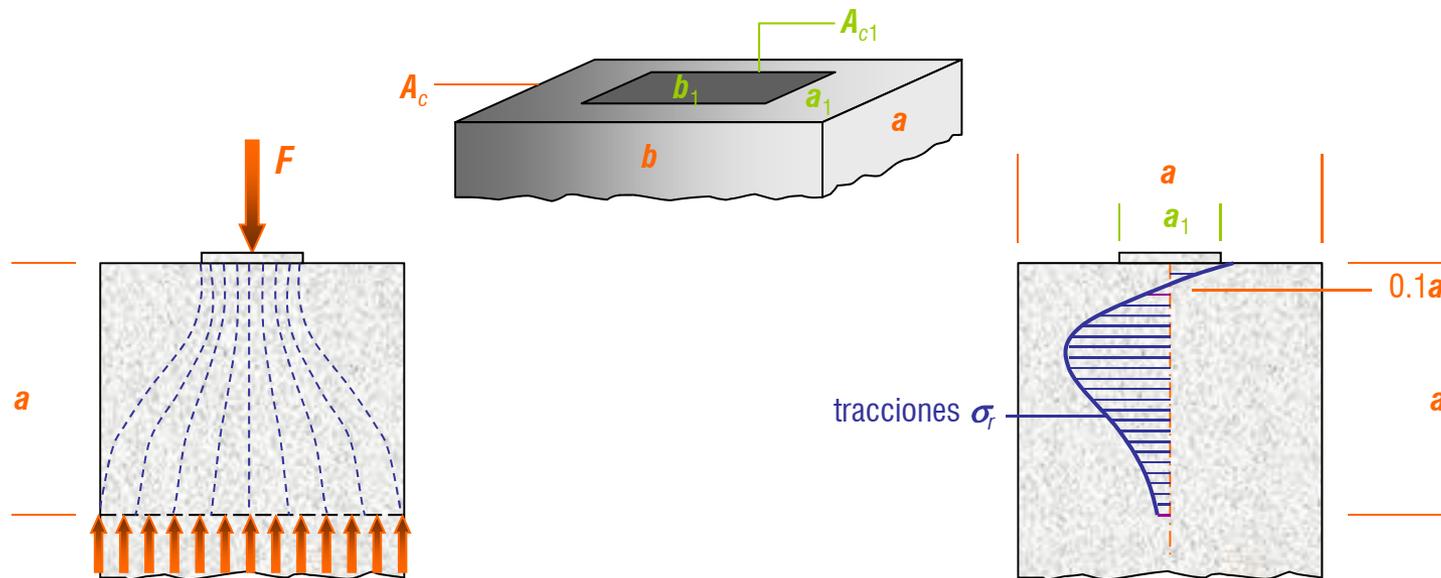
### <3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



## 03 Diseño de subestructuras

### (7) Armaduras de refuerzo para cargas concentradas

□ Deben disponerse en las subestructuras (parte superior del muro frontal y coronación de las pilas) en las zonas afectadas por **cargas concentradas transmitidas por los aparatos de apoyo**



Trazado de isostáticas y distribución de tensiones transversales  $\sigma_r$

## 03 Diseño de subestructuras

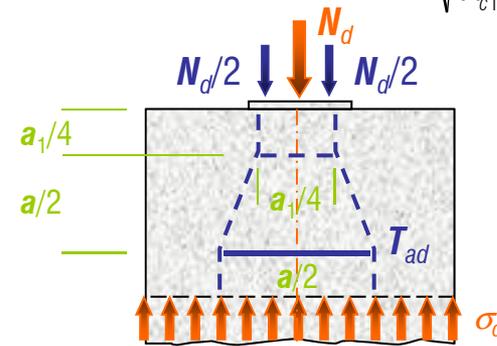
### (7) Armaduras de refuerzo para cargas concentradas (dimensionamiento según EHE, art. 60)

- *COMPROBACIÓN DE NUDOS Y BIELAS:*

$$N_d \leq A_{c1} f_{3cd}, \quad f_{3cd} = \sqrt{\frac{A_c}{A_{c1}}} f_{cd} \leq 3.3 f_{cd}$$

con  $N_d$  aplicada sobre la superficie restringida  $A_{c1}$  (Art. 60.2)

--- compresión  
— tracción



- *ARMADURAS TRANSVERSALES.* Los tirantes  $T_d$  indicados en la Figura anterior se dimensionan para la tracción de cálculo siguiente:

$$T_{ad} = 0.25 N_d \left( \frac{a - a_1}{a} \right) = A_s f_{yd} \quad \text{en sentido paralelo a } a$$

$$T_{bd} = 0.25 N_d \left( \frac{b - b_1}{b} \right) = A_s f_{yd} \quad \text{en sentido paralelo a } b$$

con  $f_{yd} \leq 400 \text{ MPa}$ . Las armaduras correspondientes se dispondrán en una profundidad comprendida entre  $0.1a$  y  $a$  y  $0.1b$  y  $b$  respectivamente

## 03 Diseño de subestructuras

### (8) Detalles de puesta en obra de los aparatos de apoyo

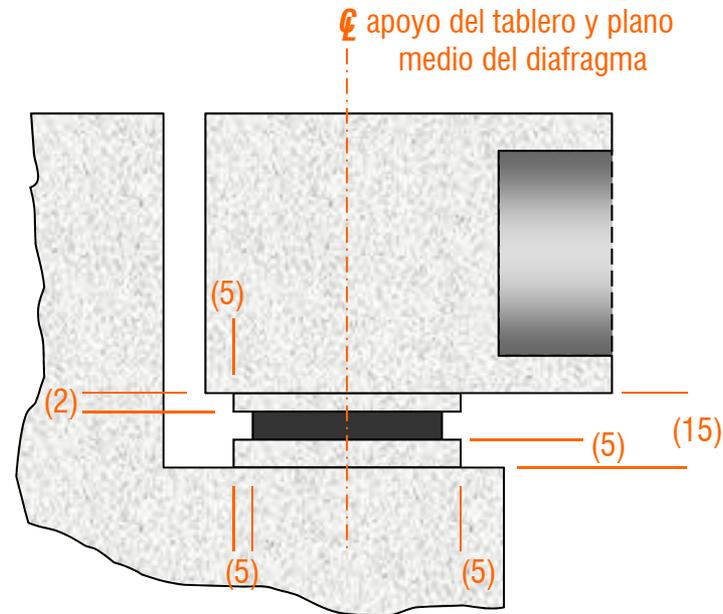
□ ALMOHADILLAS DE APOYO: su finalidad consiste en proporcionar al aparato de apoyo un **plano de descanso horizontal** (también se les denomina **mesetas de nivelación**) a la cota requerida en el proyecto. Así mismo, debe permitir una cómoda **inspección** y, en su caso, **sustitución** de los aparatos de apoyo. Para ello, se necesita espacio suficiente para alojar los gatos hidráulicos, con el fin de levantar el tablero sobre sus apoyos.

□ EJECUCIÓN: en general, la almohadilla inferior se hormigona en segunda fase, en coronación de pilas y muro frontal de estribos, empleando mortero de cemento de alta resistencia. La superior puede ser:

- **Hormigonada in situ**, si el tablero se ejecuta in situ (losas...)
- **Prefabricada** (caso de los tableros de vigas de HP), debiendo entonces adherirla con epoxi
- **Una pletina de acero**, de espesor variable, en el caso de tableros mixtos o metálicos.

## 03 Diseño de subestructuras

(8) *Detalles de puesta en obra de los aparatos de apoyo, dimensiones mínimas*



*Las dimensiones indicadas entre paréntesis indican **valores mínimos** expresados en cm*

<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

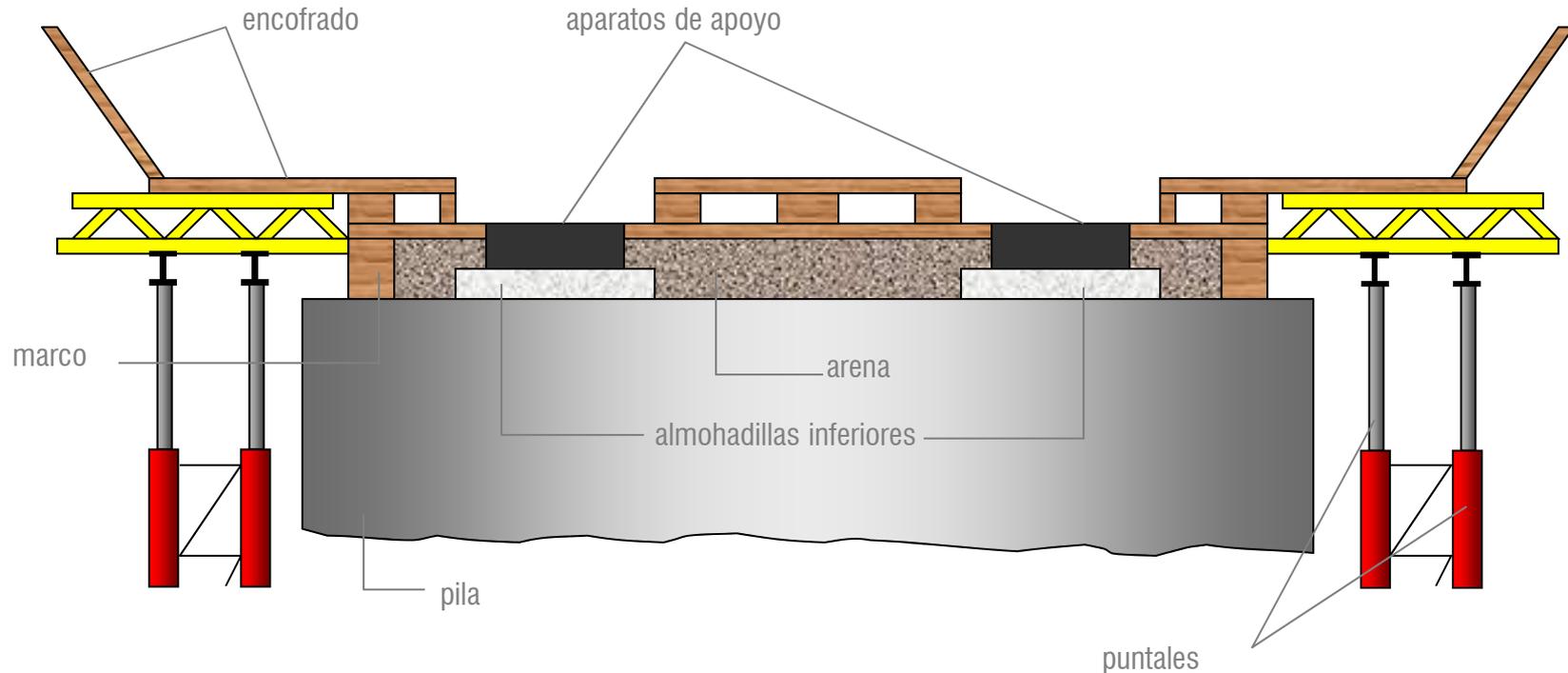
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

(8) *Detalles de puesta en obra de los aparatos de apoyo, método de la caja de arena para tablero hormigonado in situ*



<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>

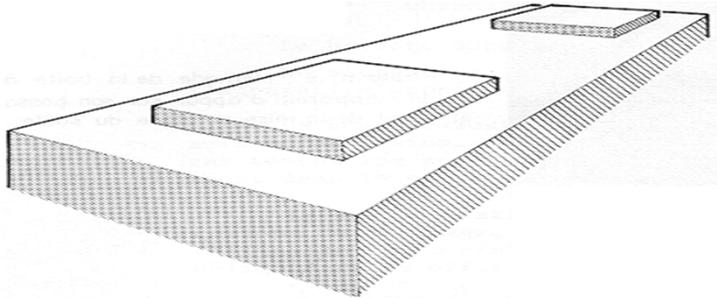


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

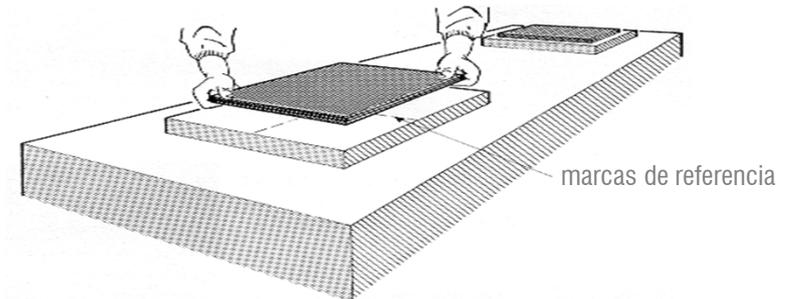
## 03 Diseño de subestructuras

(8) *Detalles de puesta en obra de los aparatos de apoyo*, método de la caja de arena para tablero hormigonado in situ

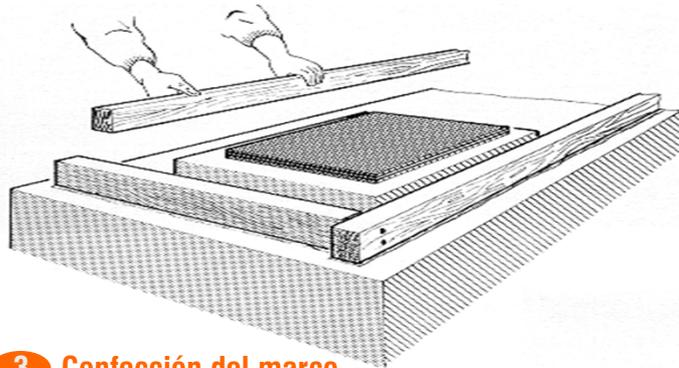
### 1 Ejecución de las almohadillas inferiores



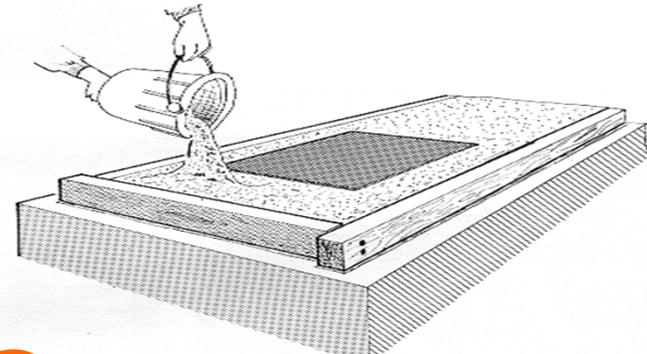
### 2 Colocación y nivelación del bloque de neopreno zunchado



### 3 Confección del marco



### 4 Llenado de la caja con arena



<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>

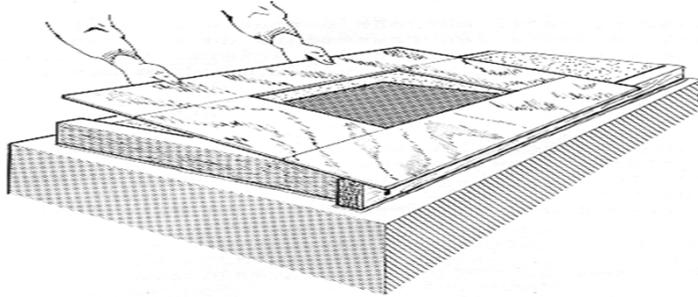


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

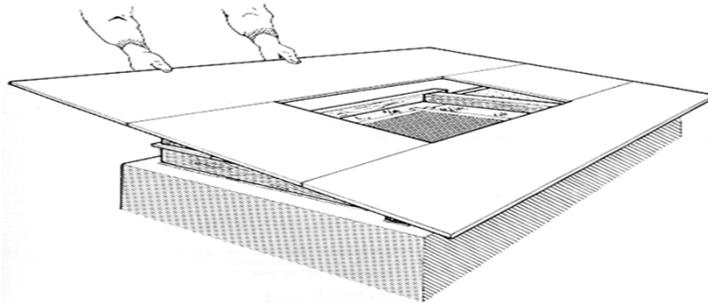
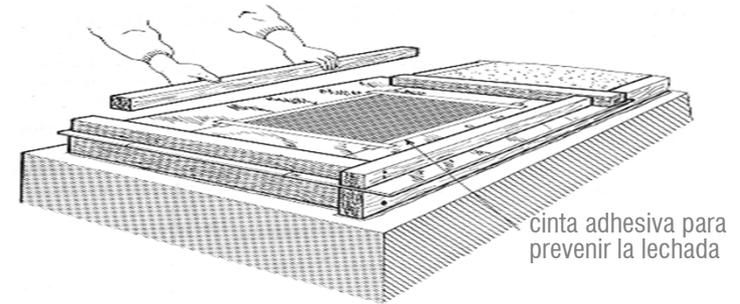
## 03 Diseño de subestructuras

(8) *Detalles de puesta en obra de los aparatos de apoyo*, método de la caja de arena para tablero hormigonado in situ

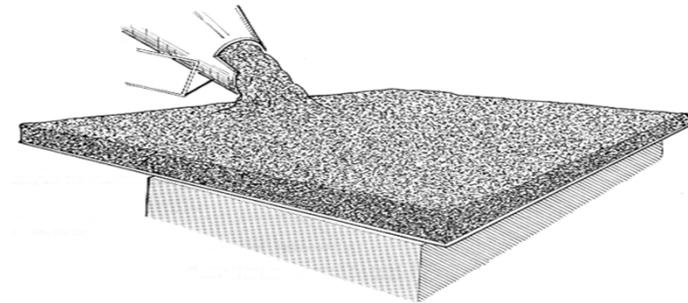
**5** Encofrado inferior de las almohadillas superiores en torno a los neoprenos



**6** Ejecución del encofrado lateral de las almohadillas superiores



**7** Ejecución del encofrado inferior del tablero



**8** Colocación de armaduras y hormigonado

<3.3.2 Morfología y proyecto de aparatos de apoyo>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### ❑ FALLOS CARACTERÍSTICOS

- (1) **Rotura en la transición pavimento-junta**, causada por un dimensionamiento incorrecto, por el empleo de materiales inadecuados o por el fallo de la impermeabilización
- (2) **Instalación incorrecta o apresurada**, por tratarse de una unidad de fin de obra
- (3) **Insuficiente comunicación proyectista-industrial**, para escoger desde la fase de proyecto la solución adecuada al problema entre las técnicamente viables

### ❑ REGLAS BÁSICAS PARA EL DISEÑO: *estanqueidad* y *continuidad de la rodadura* son aspectos que deben ser sistemáticamente requeridos a una junta de dilatación, por ello se recomienda (*F. Leonhardt*)

- (1) **Huir de la junta de dilatación**, haciendo la superestructura continua a través de muchos tramos, en la medida de lo posible
- (2) **Las juntas necesarias**, hacerlas tan resistentes como sea posible. No debe ahorrarse en este capítulo; ello reducirá los costes de mantenimiento
- (3) **Hacer hipótesis sencillas** al evaluar el movimiento de las estructuras para el dimensionamiento de las juntas, pero considerando todas sus componentes: esencialmente las dilataciones *térmicas* y *reológicas*, sin olvidar las rotaciones, de origen principalmente gravitatorio

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

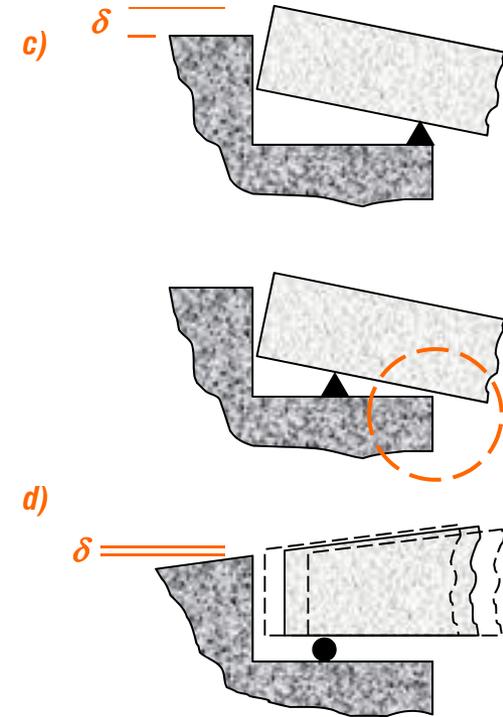
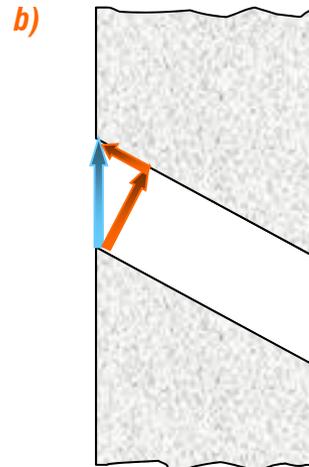
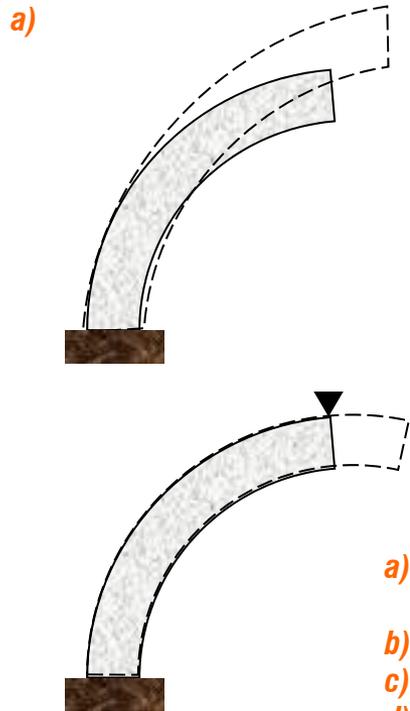
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### □ PROBLEMAS ESPECIALES DE CARÁCTER GEOMÉTRICO



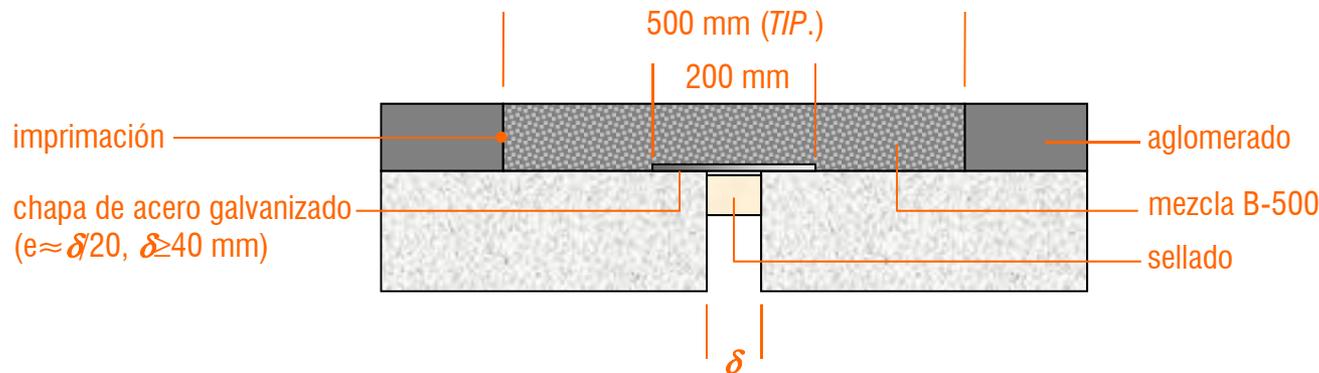
- a) *Debidos a la curvatura, según se coaccione o no el desplazamiento radial sobre estribos*
- b) *Debidos a la oblicuidad*
- c) *Debidos a la posición de la sección de apoyo*
- d) *Debidos a la pendiente longitudinal*

## 03 Diseño de subestructuras

### TIPOLOGÍA DE JUNTAS DE DILATACIÓN

- (1) Junta tipo rótula plasto-elástica
- (2) Perfiles de compresión
- (3) Juntas de dilatación con **membrana flexible**
- (4) Juntas de dilatación de **elastómero reforzado** con acero
- (5) Juntas de dilatación con **perfiles de expansión**
- (6) Juntas de dilatación **metálicas**

#### (1) Junta tipo rótula plasto-elástica



- Para movimientos de hasta **40 mm**
- Totalmente impermeable y cómoda para el usuario
- Larga duración y exenta de mantenimiento
- Económica (rápida instalación y puesta en servicio)

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

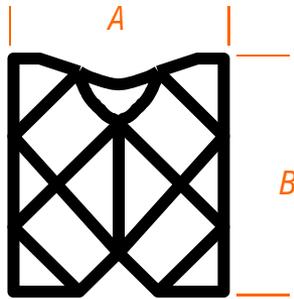
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



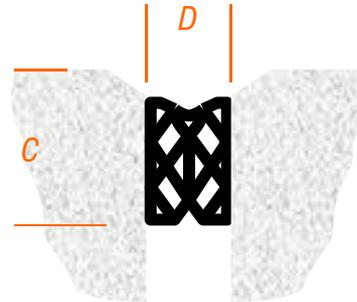
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

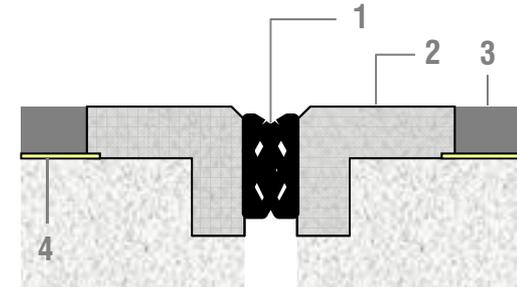
### (2) Perfiles de compresión



perfil en reposo



perfil instalado



1 Perfil de compresión

2 Mortero M-150

3 Aglomerado

4 Impermeabilización Epoxytar

	A mm	B mm	C mm	D mm	capacidad de movimiento
PC J-250	64	70	89	29 a 54	25
PC J-350	89	89	108	34 a 76	42
PC J-450	114	114	152	46 a 97	51

- Gama de perfiles de caucho para movimientos de hasta **51 mm**
- Buenas características de recuperación
- Durable, sin necesidad de mantenimiento
- Resistente a hidrocarburos, disolventes, abrasión y punzonamiento
- Marcas comerciales: *EXPANDITE-TRELLEBORG*

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

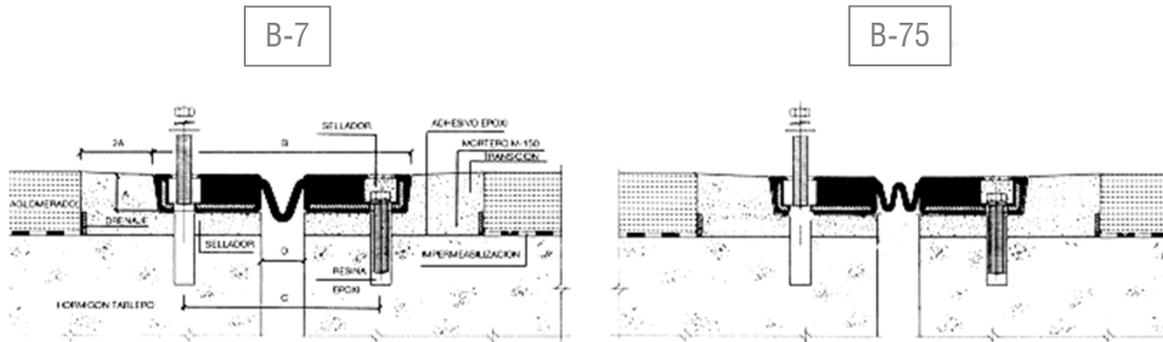
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (3) Juntas de dilatación de membrana flexible



- Las **cargas de impacto** son absorbidas por el **elastómero**, luego no se transmiten a los puntos de anclaje
- La membrana flexible central no provoca cargas en la estructura
- Su **estanqueidad** requiere disponer previamente un **faldón** continuo
- EJEMPLO: junta *Expandite-TRELLEBORG serie B*, junta *CETEC serie T* o bien *CTT-Felspan*. Son todas de análoga organización, con **recorridos máximos entre 50 y 100 mm**, según firmas

Modelo	recorrido	Dimensiones (mm)			
		A	B	C*	D**
B-7	50 mm	34	209	148	25 min. 40 max.
B-75	75 mm	35	220	162	35 min. 50 max.

(\*) En reposo o a temperatura media

(\*\*) Al hormigonar la zona de la junta, considerar que estas medidas no incluyen el acortamiento por retracción del tablero o forjado

#### <3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

### <3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



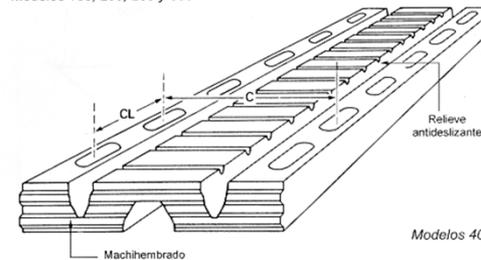
## 03 Diseño de subestructuras

### (4) Juntas de dilatación de elastómero reforzado (1)

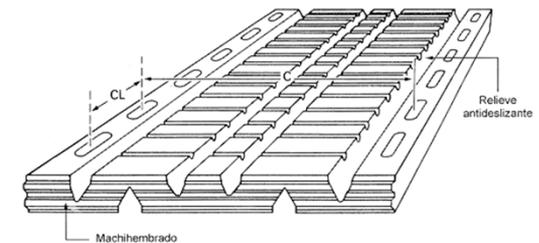


- Las cargas de impacto son perfectamente absorbidas por el dispositivo
  - Junta de gran durabilidad, **estanca** y cómoda para el tráfico
  - Directamente aplicables a juntas esviadas
- EJEMPLO: junta *Transflex-TRELLEBORG* o bien *Freyssinet serie M*, con **recorridos máximos entre 38 y 330 mm**, o **75 y 200 mm**, según modelo y respectivamente

Modelos 150, 200, 250 y 300



Modelos 400, 650, 900 y 1300



<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

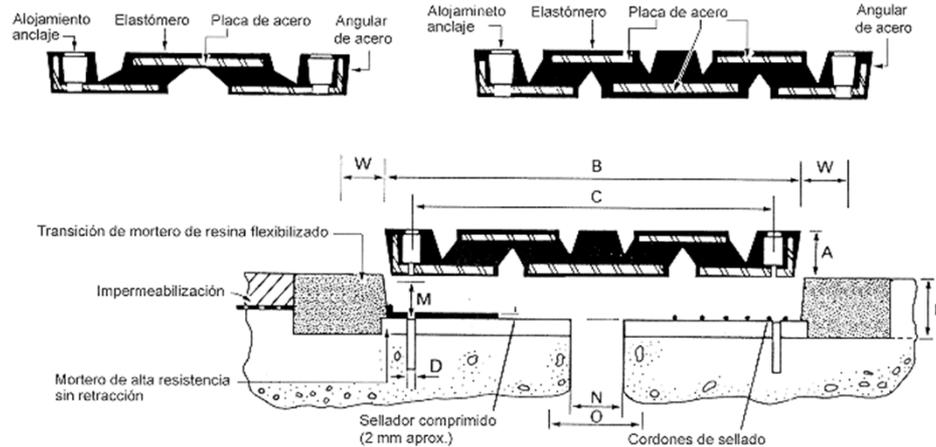
## 03 Diseño de subestructuras

### (4) Juntas de dilatación de elastómero reforzado (2)

#### Características

Modelos 150, 200, 250 y 300

Modelos 400, 650, 900 y 1300



Modelos	Recorrido	Longitud del módulo	Altura del módulo	Anchura del módulo	Peso del módulo	Diámetro del perno
			A	B		D
150	38 mm	1750 mm	35 mm	240 mm	28 kg	12 mm
200	50 mm	1830 mm	40 mm	274 mm	45 kg	14 mm
250	65 mm	1830 mm	46 mm	356 mm	62 kg	14 mm
300	80 mm	1830 mm	54 mm	432 mm	88 kg	16 mm
400	102 mm	1830 mm	54 mm	590 mm	150 kg	16 mm
650	165 mm	1830 mm	75 mm	724 mm	260 kg	20 mm
900	230 mm	1830 mm	93 mm	890 mm	375 kg	24 mm
1300	330 mm	1220 mm	127 mm	1207 mm	438 kg	27 mm

*Nota:* La instalación en tándem de Transflex 900 o 1300, permite absorber hasta 640 mm de movimiento. Consultar

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



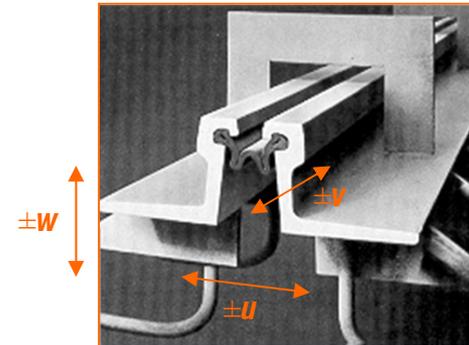
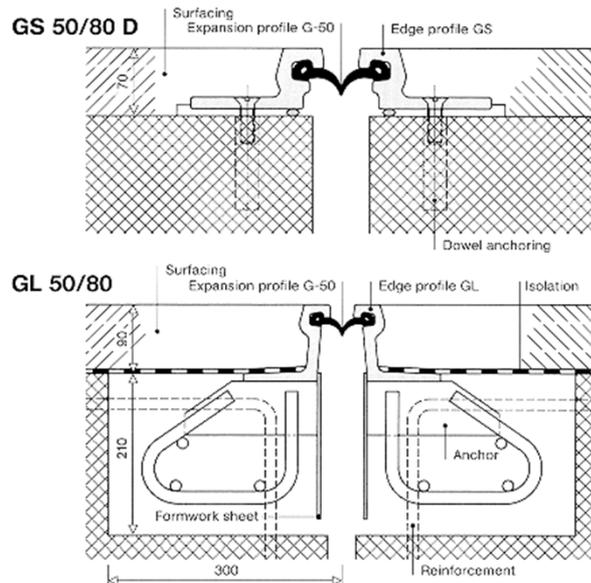
UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (5) Juntas de dilatación con perfiles de expansión (1): características generales

- Recorridos de **50 hasta 800 mm** ( $s=\pm 25$  a  $\pm 400$  mm)
- Junta robusta, *estanca* y silenciosa
- Todos los elementos son fácilmente sustituibles

### JUNTA TENSA-GRIP, DATOS GENERALES



Tipo	$u$	$v$	$w$
G-50	$\pm 25$	$\pm 25$	$\pm 10$
G-80	$\pm 40$	$\pm 40$	$\pm 10$
G-150	$\pm 75$	$\pm 75$	$\pm 10$

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

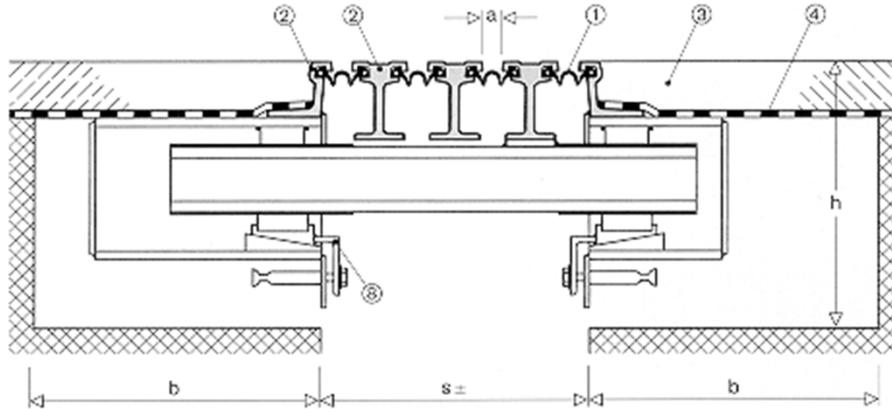
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

(5) Juntas de dilatación con perfiles de expansión (2) JUNTA TENSA-GRIP, datos para el dimensionamiento



- (1) Perfil elastomérico de expansión
- (2) Perfil de acero de borde tipo **L**, e intermedio tipo **M**
- (3) Revestimiento de la calzada
- (4) Capa de estanqueidad
- (5) Anclajes, separados 250 mm
- (6) Armadura (en junta tipo **GL**)
- (7) Chapa de encofrado
- (8) Pretensado del apoyo regulable

Junta de dilatación **GL** con apertura  $a$  de 80 mm

$\Sigma a$	80	160	240	320	400	480	560	640
$n \times a$	1 × 80	2 × 80	3 × 80	4 × 80	5 × 80	6 × 80	7 × 80	8 × 80
$s$	70 $\pm$ 40	220 $\pm$ 80	360 $\pm$ 120	490 $\pm$ 160	620 $\pm$ 200	750 $\pm$ 240	880 $\pm$ 280	1010 $\pm$ 330
$b$	300	350	400	500	600	650	750	800
$h$	300	450	450	450	450	500	500	500

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

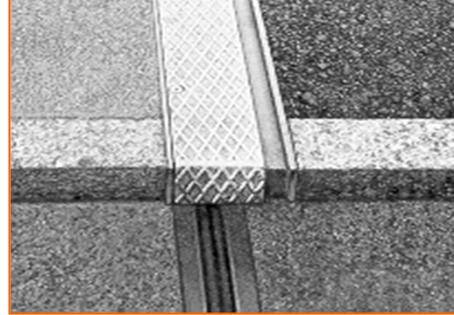
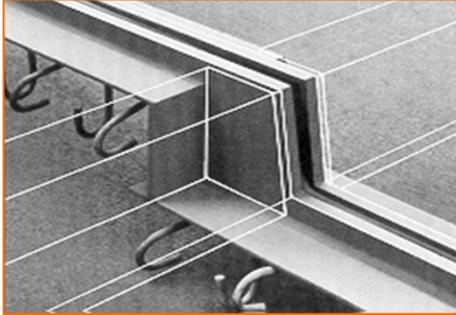
<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (5) Juntas de dilatación con perfiles de expansión (3): detalles de ejecución



Detalles de ejecución de juntas con perfiles de expansión:

- transición en aceras
- cubrejuntas...

<3.3.3 Morfología y proyecto de juntas de dilatación>

<3.3 APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN>



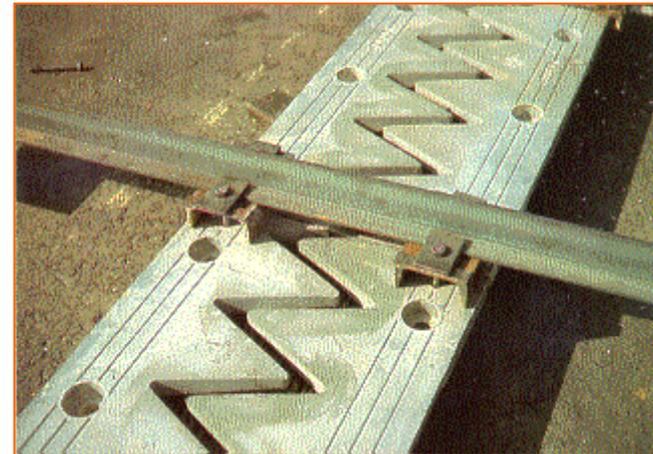
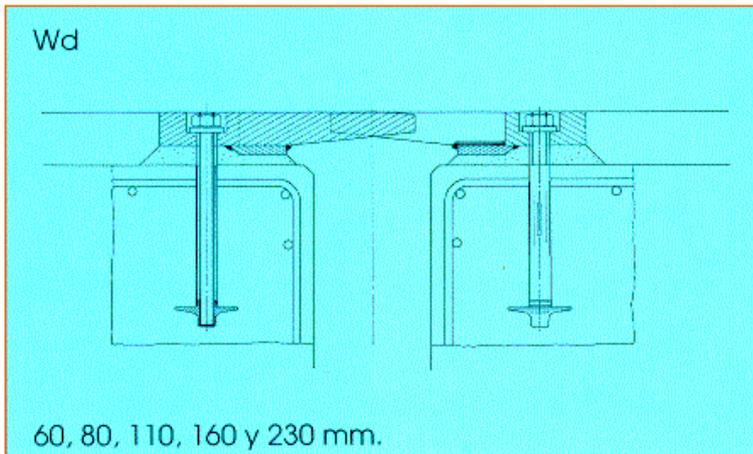
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Juntas de dilatación metálicas (1)

- Para recorridos medios y grandes, entre **60 y 1000 mm**. Están especialmente indicadas para tráfico pesado e intenso
- De gran robustez, al estar constituidas por elementos metálicos dentados, en aluminio colado o acero
- Sencilla y rápida de colocar, la junta se compone de dos elementos metálicos entre los que se inserta un perfil de elastómero que impide la penetración de cuerpos extraños y asegura la **estanqueidad**
- Accesibilidad permanente a los anclajes, lo cual permite recalces fáciles si se procede a un reperfilado de la calzada

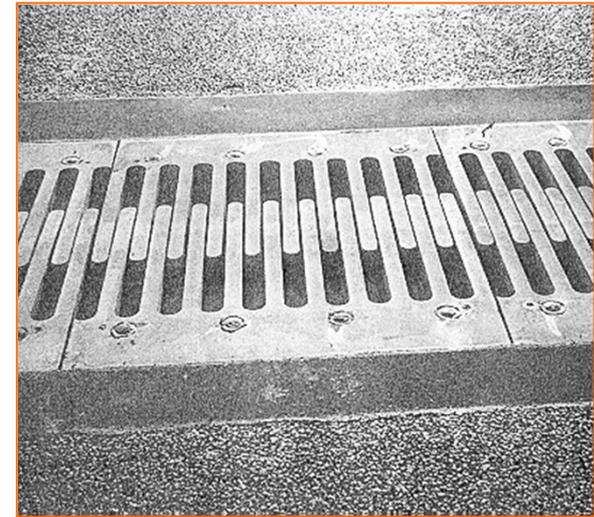
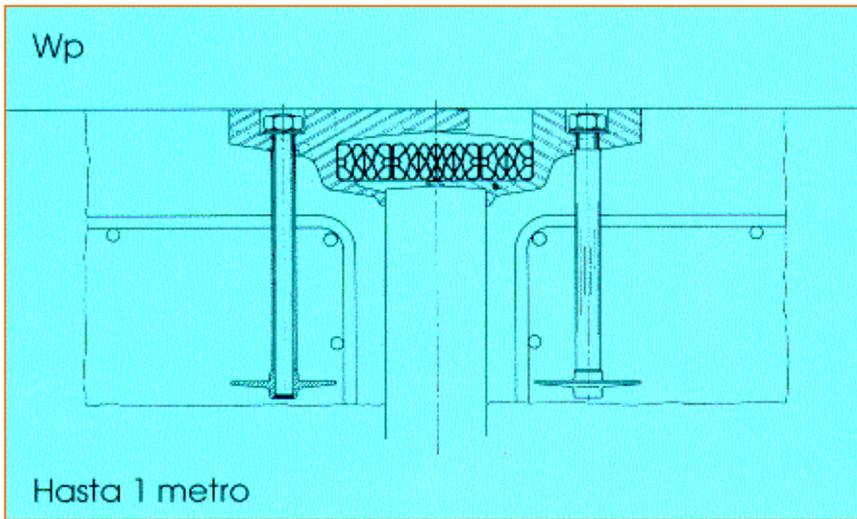
### JUNTA FREYSSINET/CIPEC serie Wd



## 03 Diseño de subestructuras

### (6) Juntas de dilatación metálicas (2)

#### JUNTA FREYSSINET/CIPEC serie Wp



- Esta junta está disponible, sobre encargo, para funcionamiento oblicuo

#### **4.0 Motivación**

#### **4.1 Concepción de tableros de vigas**

**<morfología, diseño y elementos para su análisis y construcción>**

#### **4.2 Concepción de tableros losa**

**<morfología, diseño y elementos para su análisis y construcción>**

#### **4.3 Concepción de tableros en cajón**

**<morfología, diseño y elementos para su análisis y construcción>**



## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ La concepción de **tableros de puentes de hormigón pretensado** se desarrolla a lo largo de tres temas. Los dos primeros se dedican a las tipologías más difundidas en la gama de las luces cortas: los **tableros de vigas** y los **tableros losa**; el tercero trata los **tableros en cajón**, usuales en luces medias y grandes. Sus contenidos se articulan de acuerdo con los siguientes epígrafes genéricos:

1. **Características morfológicas** (*sección transversal y configuración longitudinal*)
2. **Características estructurales**
3. **Elementos de diseño**
4. **Elementos para el análisis**
5. **Elementos de proyecto y construcción**

□ El objetivo conjunto de todos ellos consiste en **familiarizarnos** con las **formas** y las **características resistentes** de cada una de las tres familias, **delimitar** con claridad su **campo de aplicación** y proporcionar reglas sencillas pero sólidas para su **diseño** preliminar (*pongamos en fase de estudio de soluciones*)

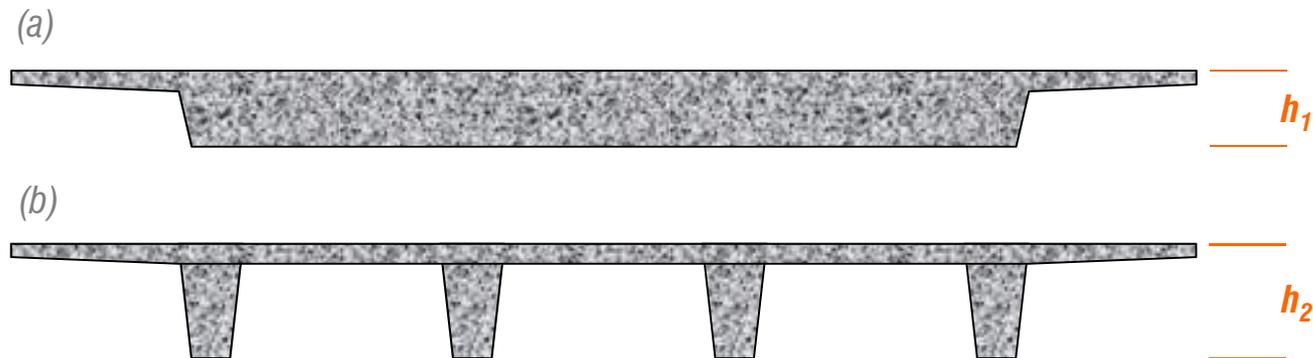
## 04 Diseño de tableros de hormigón

- ❑ Para los TABLEROS DE VIGAS, y dentro del apartado de *características morfológicas*, se pretende llevar a cabo una clasificación de naturaleza *constructiva* y *geométrica*, utilizando como *parámetro selectivo* de la sección transversal la *separación entre vigas*, comentando la forma de las mismas y el proceso de fabricación habitualmente asociado a cada caso, así como el tipo de vinculación entre tramos dentro de las distintas configuraciones longitudinales de tableros
- ❑ A continuación se describen las *características estructurales* propias de estas construcciones, a través de la influencia que tienen sobre su comportamiento distintos factores mecánicos como la rigidez relativa entre elementos resistentes, la presencia de riostras o la relación ancho-luz
- ❑ En el apartado asignado al *diseño* o *dimensionamiento*, se presenta de forma sistemática los criterios de selección de los diferentes parámetros geométricos que definen las secciones transversales de los *tableros de vigas prefabricadas*. En cuanto a *metodología de análisis*, es importante precisar los modelos estructurales a emplear así como los esfuerzos a determinar en relación con la adecuada secuencia de aplicación de las acciones
- ❑ La exposición se cierra con algunos *detalles de proyecto* y unos comentarios sobre determinados *aspectos constructivos*. Con todo ello, se pretende ofrecer una descripción morfológica *útil para el ingeniero*, razonada mediante argumentos resistentes y constructivos prácticos junto con criterios de dimensionamiento y de metodología de análisis

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ EL TABLERO DE VIGAS nace de una resolución particular de *los dos problemas básicos* en la ingeniería de puentes: el *constructivo* y el *resistente*

▪ **Problema resistente:** en tableros rectos simplemente apoyados, la flexión longitudinal es dominante y se puede resistir *(a) repartiendo uniformemente* o *(b) concentrando en nervios* la rigidez longitudinal de la estructura. Esta segunda opción ahorra material puesto que la flexión se resiste mejor cuanto mayor es el canto



▪ **Problema constructivo:** en tableros de vigas, *cada uno de los elementos longitudinales puede realizarse por separado* y colocarse entre pilas. Con ello, las piezas a manejar resultan más ligeras y es posible prescindir de cimbras costosas y de apoyar en el terreno al ejecutar el piso del tablero

### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

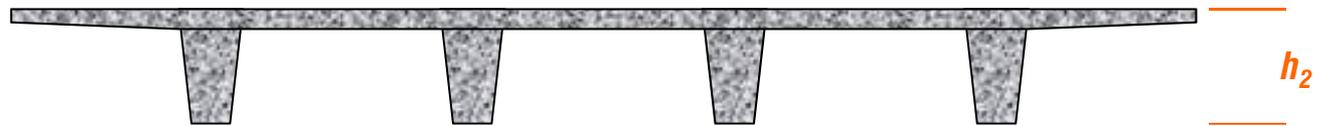
### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



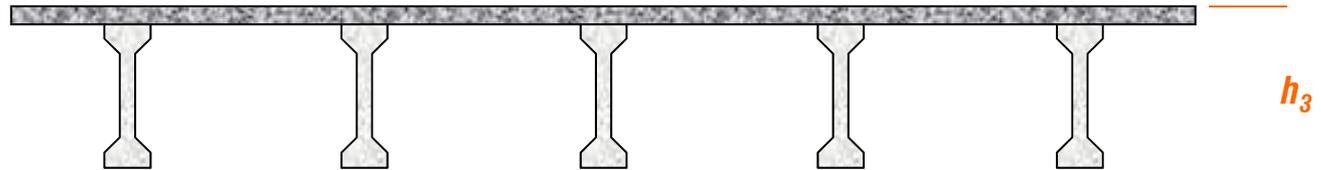
## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES DE VIGAS. Básicamente, existen dos grandes familias de puentes de vigas:

(b.1) Los puentes de vigas *hormigonados mediante cimbra*



(b.2) Los puentes de *vigas prefabricadas*, in situ o en planta. Solo en estos se produce las dos ventajas anteriormente enunciadas. Se aplican desde las luces más pequeñas hasta los 40 o 45 m



<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (1) Diseño de la sección transversal

#### (1.1) Tableros hormigonados in situ (mediante cimbra convencional o bien mediante cimbra autoportante)

- Solo participan de la mejora resistente en relación con el reparto uniforme de la rigidez
- El número de **nervios longitudinales** decrece con la luz y su forma se simplifica, siendo usual la disposición de dos vigas en los tableros de mayor longitud



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

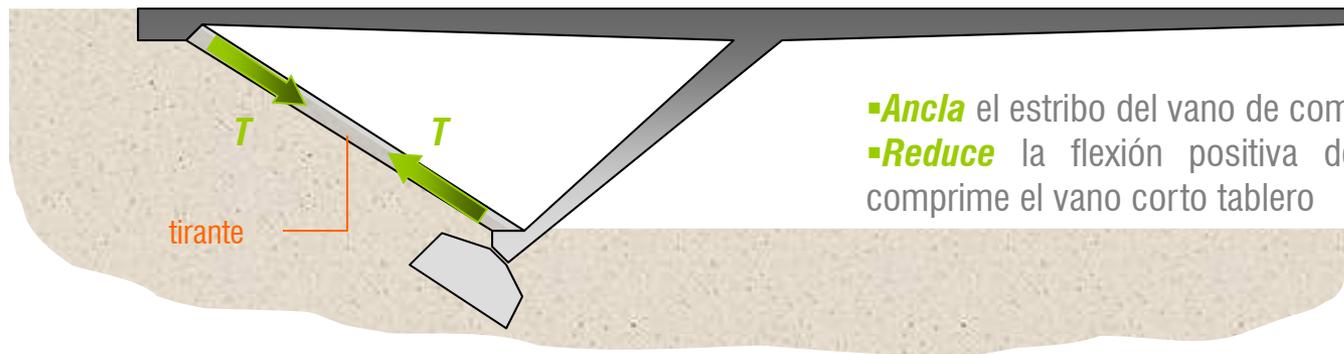
#### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

#### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Un caso particular lo constituyen los **vanos simples compensados mediante células triangulares**. Esta morfología fue concebida por Freyssinet para sus **puentes sobre el Marne** (1941 a 1950) y adaptada a la construcción de puentes pórtico en Alemania. Destacan los tableros de vigas in situ de Gänsthör (Ulm, 1951, 82.4 m) y Lombard (Hamburgo, 1953, 60.3 m)

- La célula triangular puede **pretensarse**, reduciendo así las flexiones positivas en el vano principal así como el posible levantamiento de los estribos a costa de aumentar los empujes horizontales de la pila principal



- **Ancla** el estribo del vano de compensación
- **Reduce** la flexión positiva del vano principal y comprime el vano corto tablero

- **Aumenta** el empuje horizontal al terreno de la pila principal

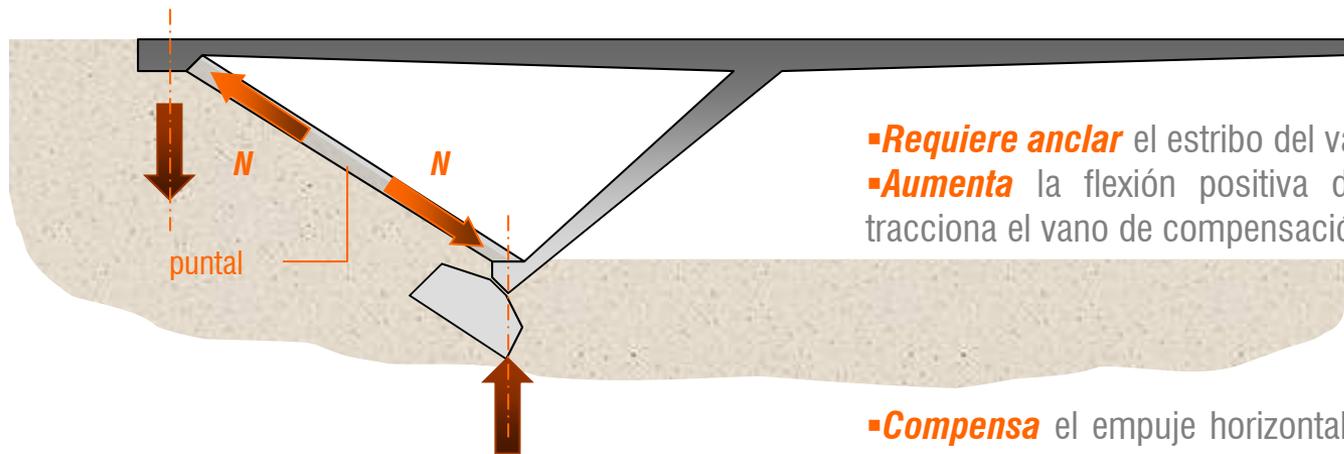
### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

- En cambio, **si no se pretensa** el efecto conseguido es justo el contrario: se suprimen los posibles empujes debidos a la inclinación de los apoyos a costa de utilizar el tablero como tirante y de acentuar flexiones y levantamiento de estribos



- **Requiere anclar** el estribo del vano de corto
- **Aumenta** la flexión positiva del vano principal y tracciona el vano de compensación

- **Compensa** el empuje horizontal al terreno de la pila principal

<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪ Los *Puentes de la serie del Marne* (1951, 74 m, E. Freyssinet y J. Chaudesaigues. Campenon Bernard)

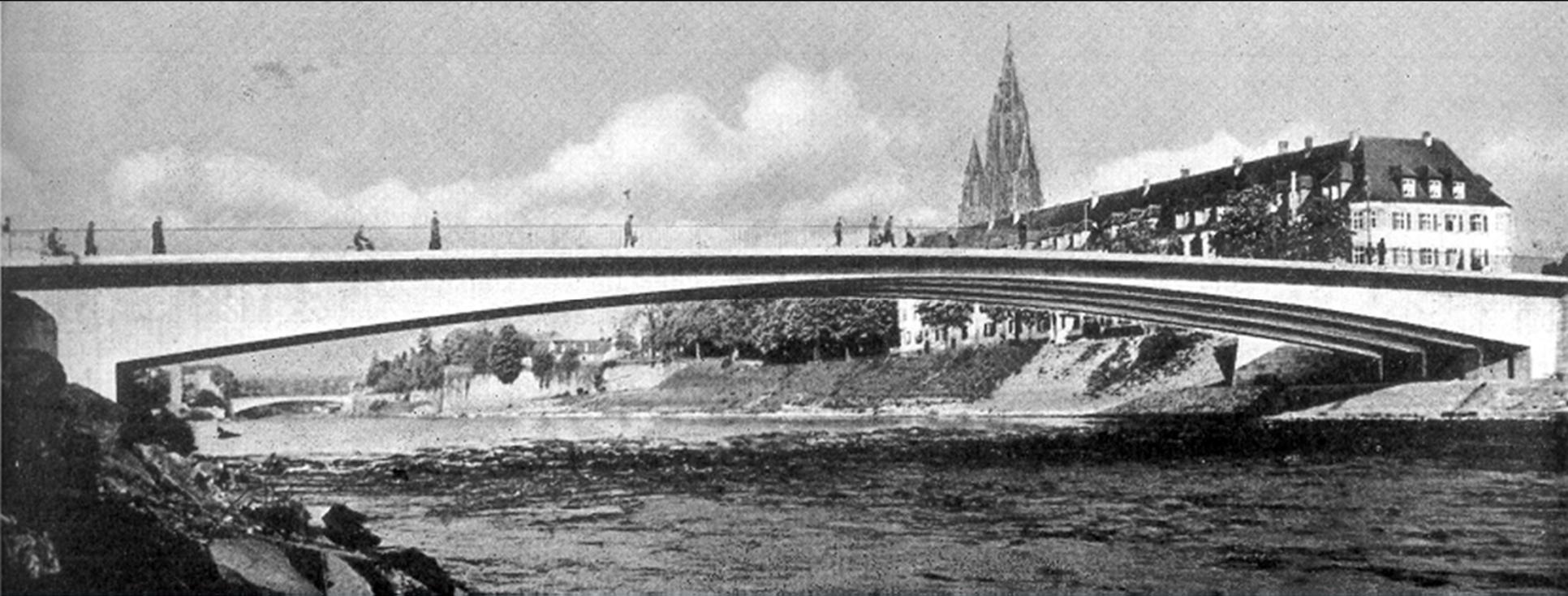
<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪Ejemplo: *puente de Gänstohr*, sobre el Danubio (1951, U. Finsterwalder, 82.4 m)

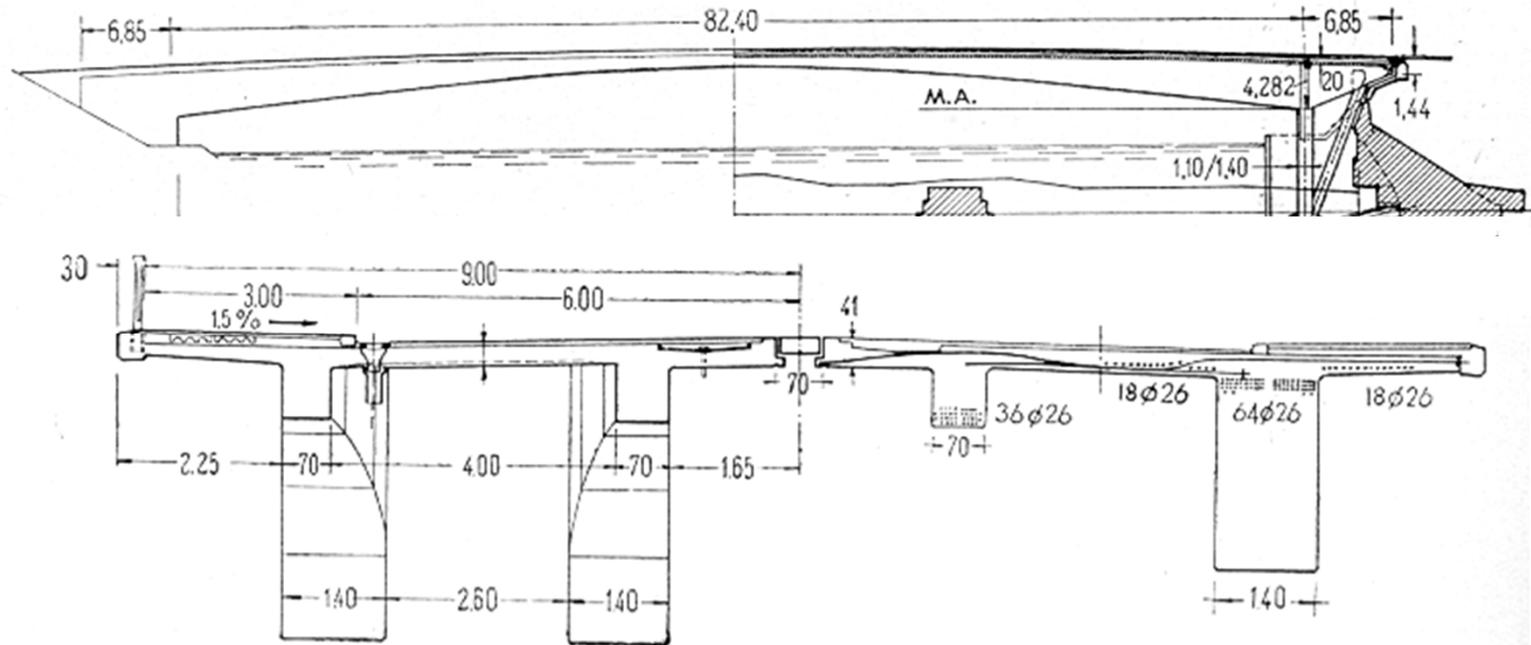
<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪Ejemplo: *ponte de Gänstohr*, sobre el Danubio (1951, U. Finsterwalder, 82.4 m)

<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **04 Diseño de tableros de hormigón**



▪ Ejemplo: *puente Lombard*, sobre el río Alster (1953, DYWIDAG, 60.32 m)

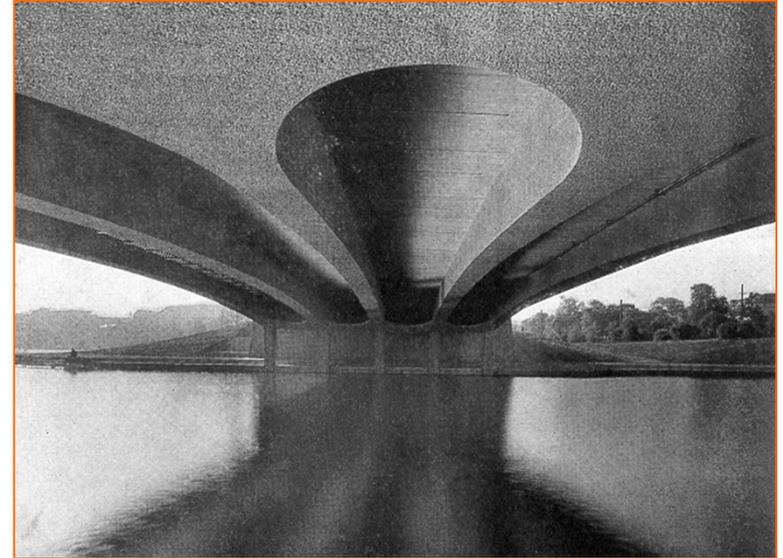
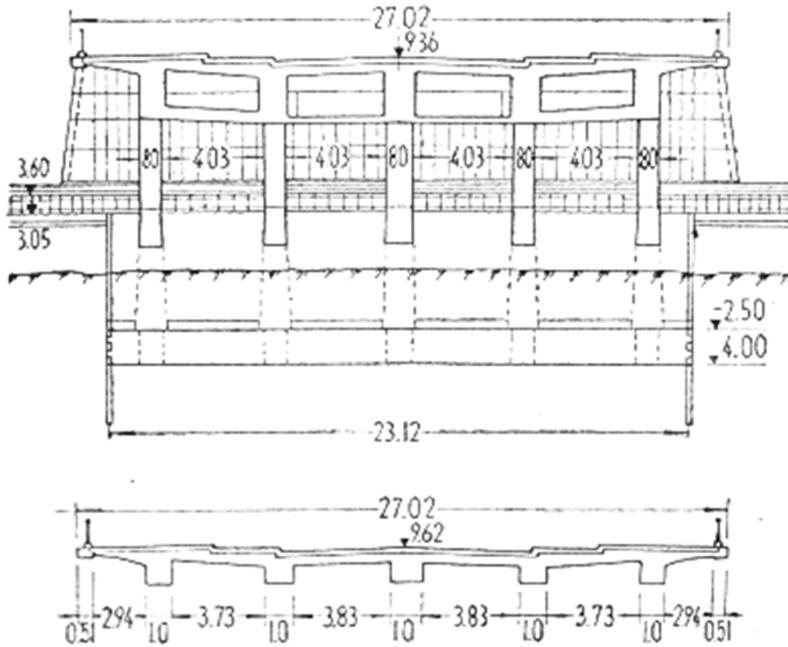
<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪ Ejemplo: *punte Lombard*, sobre el río Alster (1953, DYWIDAG, 60.32 m)

<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

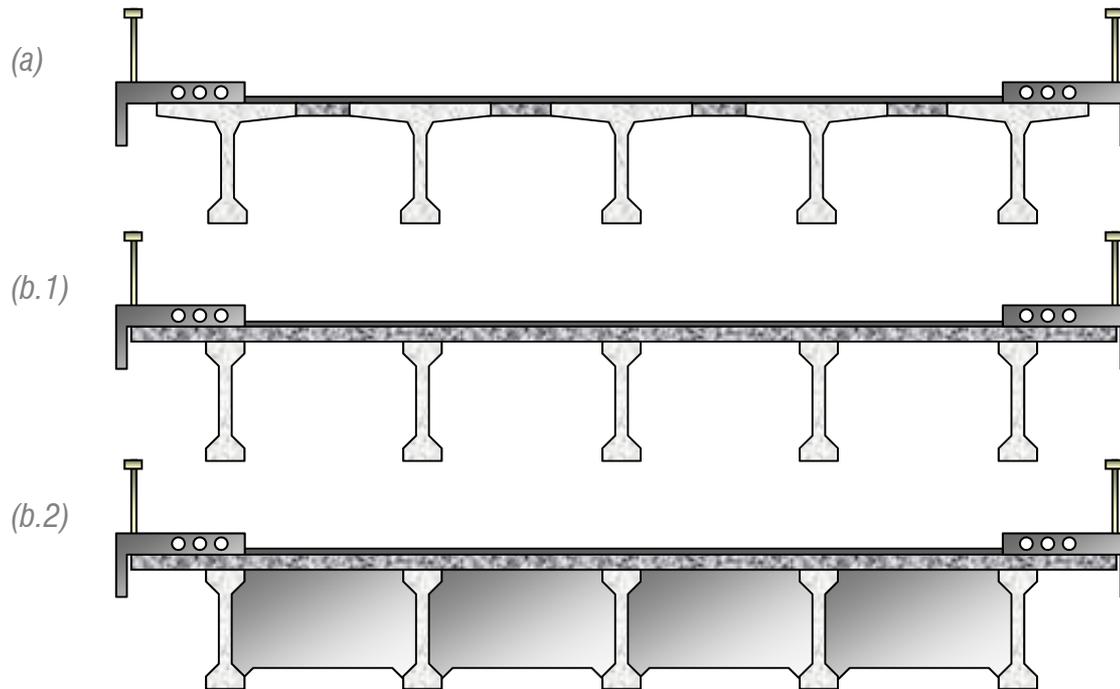


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (1.2) Tableros de vigas prefabricadas.

- Se caracterizan por la **forma** y **separación** de las vigas, además de la posible disposición de riostras transversales



#### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

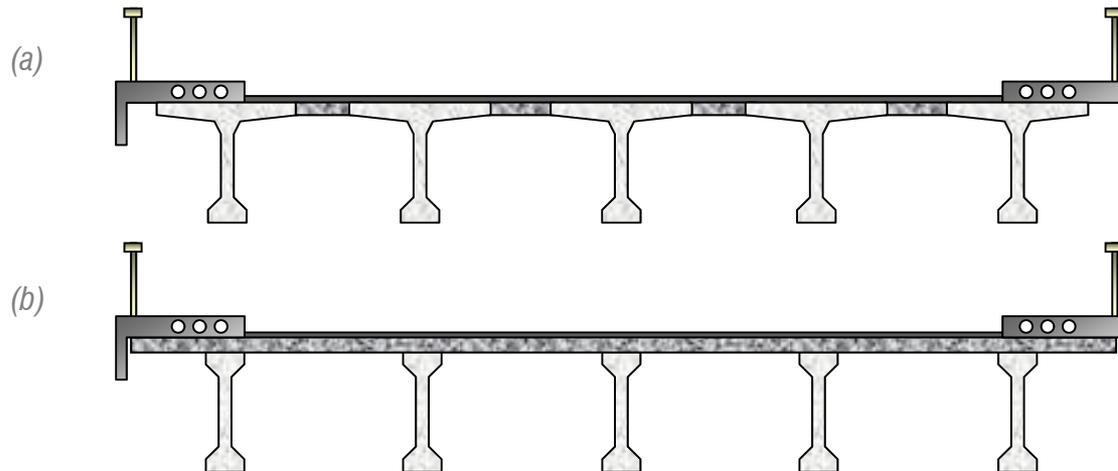
#### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Las vigas poseen *formas bien perfiladas*, determinadas por la relación  $Q/G$ . Si  $Q > G$ , como sucede en puentes cortos ( $L < 20 \text{ m}$ ), la variación de momentos flectores longitudinales es importante y requiere secciones con **gran radio de giro**:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad , \quad \sigma_x = \bar{\sigma}_{x(G+P)} + Z \frac{M_{y(Q)}}{i_y^2 A} \quad , \quad \bar{\sigma}_{x(G+P)} = \frac{N_{x(P)}}{A} + Z \frac{M_{y(G+P)}}{I_y}$$

- Ello se consigue con grandes cabezas superior e inferior y un alma esbelta, tal y como sucede en los casos (a) y (b) puesto que en este último, cuando actúan las sobrecargas la **losa superior** ya es **colaborante**

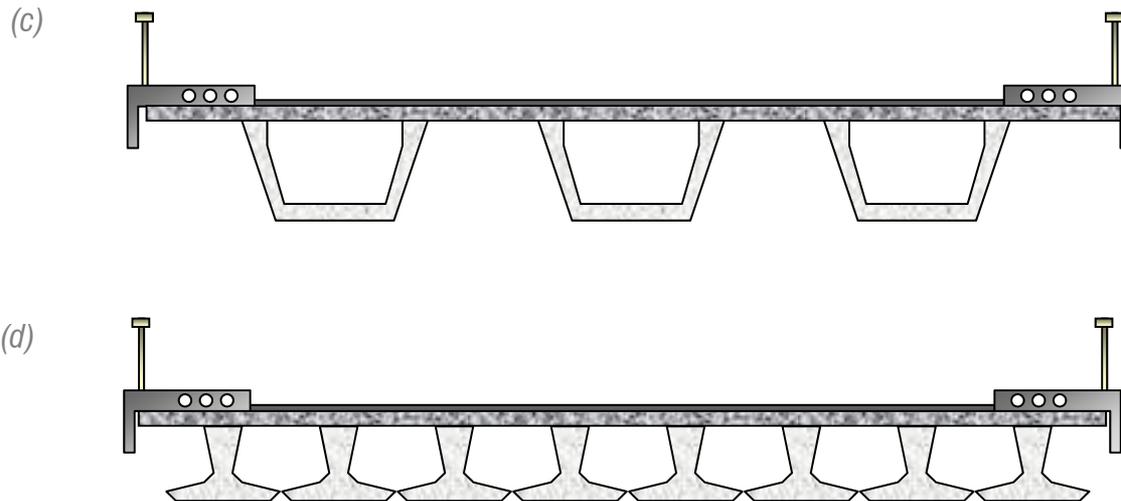


### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Respecto a la **separación** entre vigas, en términos generales puede afirmarse que la tendencia en los últimos treinta años ha sido ir a una mayor separación entre elementos ( $s \geq 2.5$  m). Ello está motivado por la posibilidad de mover mayores pesos, lo cual permite disponer de vigas más eficientes (c). En el extremo opuesto figuran las vigas pretensadas por adherencia (d), menos eficaces a causa de las restricciones de trazado de cables, pero económicas para luces cortas



<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

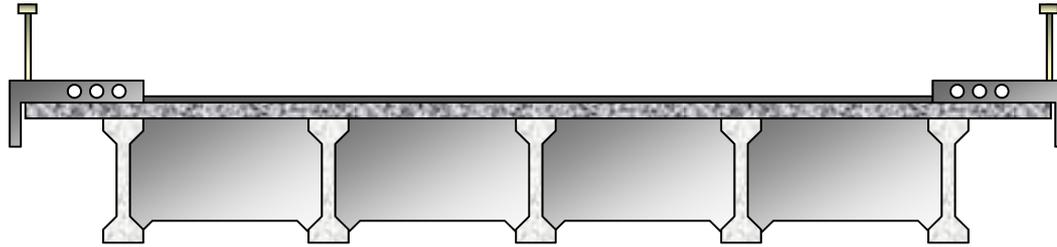
<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



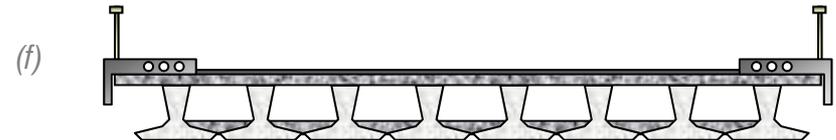
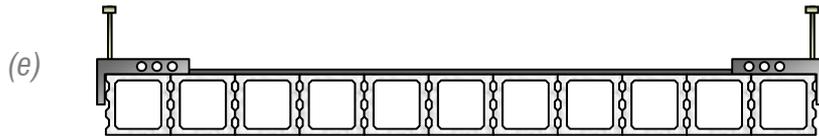
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Los **diafragmas transversales** o riostras también favorecen el aumento del espaciamiento de las vigas sin aumento del espesor de la losa superior, pero conllevan complicaciones constructivas (disposición de esperas en el prefabricado, ferrallado, encofrado y hormigonado en obra) que han determinado su abandono



- Una variante **singular** consiste en **mejorar el reparto transversal de cargas** compatibilizando el desplazamiento vertical entre elementos mediante llaves de cortante (*e*) o bien hormigonando in situ una banda entre cabezas inferiores yuxtapuestas (*f*). Ambas opciones, poco extendidas en España, se aplican a luces ↓



<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

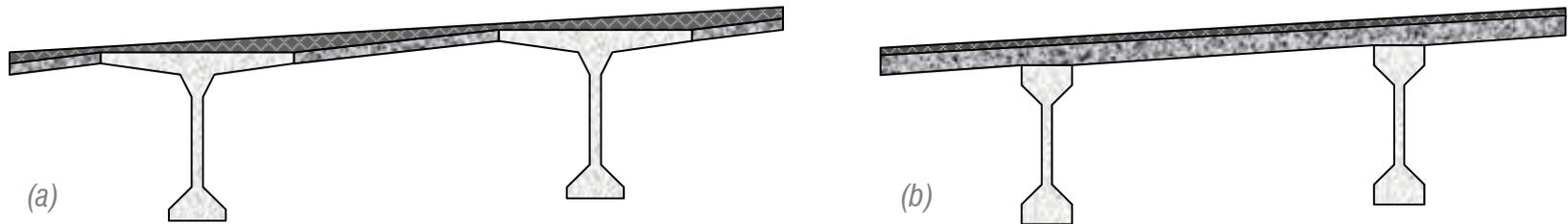
<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



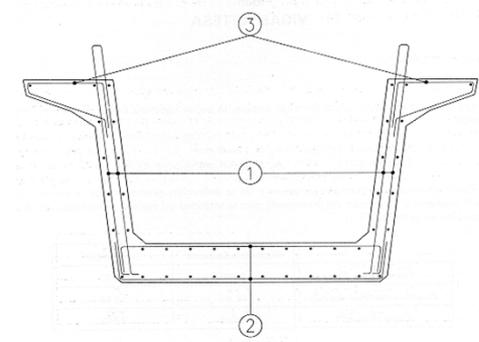
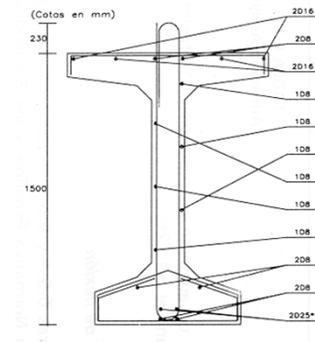
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Ventajas de la **losa sobrepuesta**: en puentes curvos, la formación del peralte no requiere aumentar la carga muerta (hormigón de regularización o sobreespesor del pavimento)



- Además, la ejecución de la losa in situ y la **disposición de esperas** en el prefabricado se ven simplificadas en el caso de losa sobrepuesta (b) puesto que basta prever solo una prolongación del cerco de cada alma



*Vigas prefabricadas para tableros con losa sobrepuesta*

### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

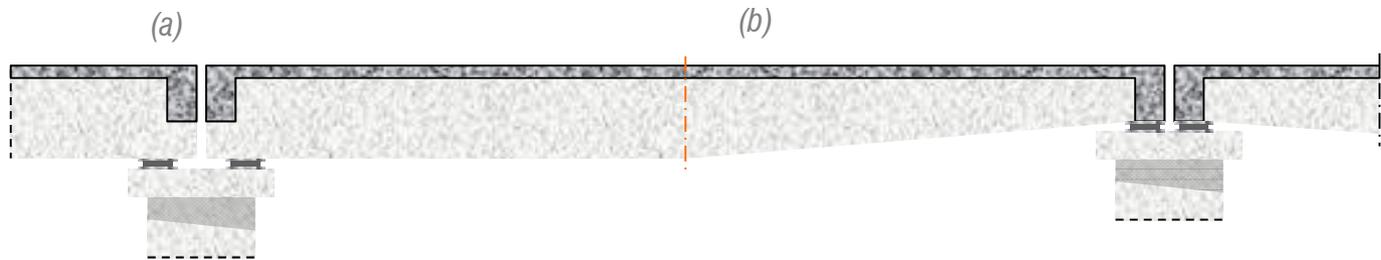
### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Configuración longitudinal

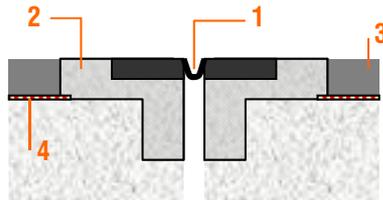
#### (2.1) Tramos simples y tramos semi-continuos

- La configuración más usual es la de **tramos simples**: las vigas se apoyan sobre pilares mediante neoprenos y el piso se materializa mediante una losa hormigonada in situ (sobre o entre vigas)
- Las vigas suelen ser de **canto constante (a)**, aunque la variación de canto en **vientre de pez (b)** supone mayor ahorro de material



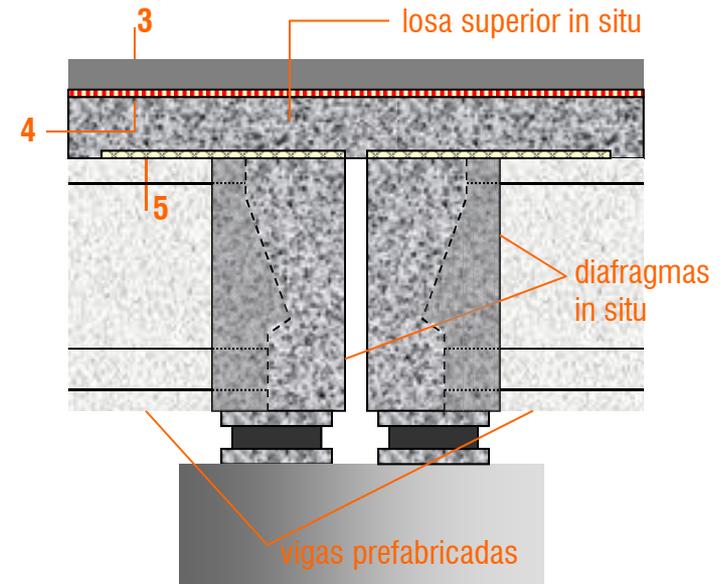
## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Entre vanos se disponen juntas de dilatación por condiciones de estanqueidad y rodadura, aspectos que se ven muy mejorados si se da continuidad a la losa superior, llegando así a los tramos **semi-continuos**



- 1 Junta de dilatación
- 2 Mortero M-150
- 3 Aglomerado
- 4 Impermeabilización
- 5 desconexión viga-losa

- Esta opción es particularmente adecuada si **la losa se hormigona sobre las vigas** y se **desconecta** en una determinada longitud ( $>0.1L$ ), con el fin de reducir los esfuerzos debidos a la rotación sobre apoyos y a las deformaciones diferidas



- En ambos casos, los asentamientos diferenciales se soportan con pequeñas variaciones de esfuerzos

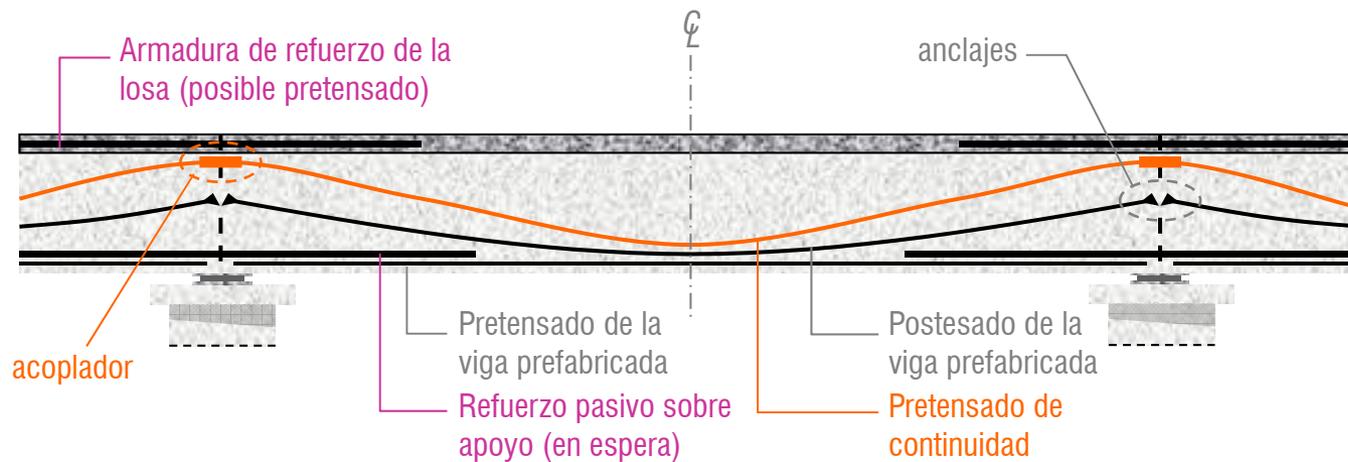
### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2.2) Tramos continuos

- Ahora la *continuidad* estructural se establece también *a nivel de vigas*, obteniendo una *respuesta más eficiente frente a cargas muertas, cargas variables y cargas accidentales*



- Familias de armaduras en tableros de vigas con continuidad posterior*

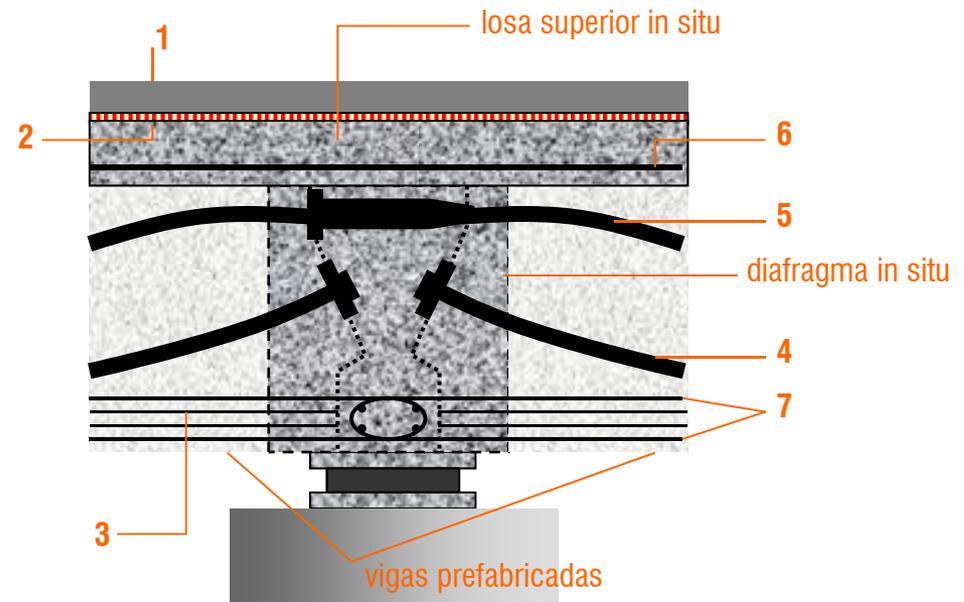
#### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

#### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- La continuidad introduce problemas constructivos complejos (cajeados en extremos de vigas, fases adicionales de pretensado y mayores plazos de ejecución) y **desvirtúa** el sentido de la prefabricación del tablero
- A todo ello se añade el problema de la **transición de cargas** entre apoyos provisionales de las vigas y apoyo final del tablero continuo

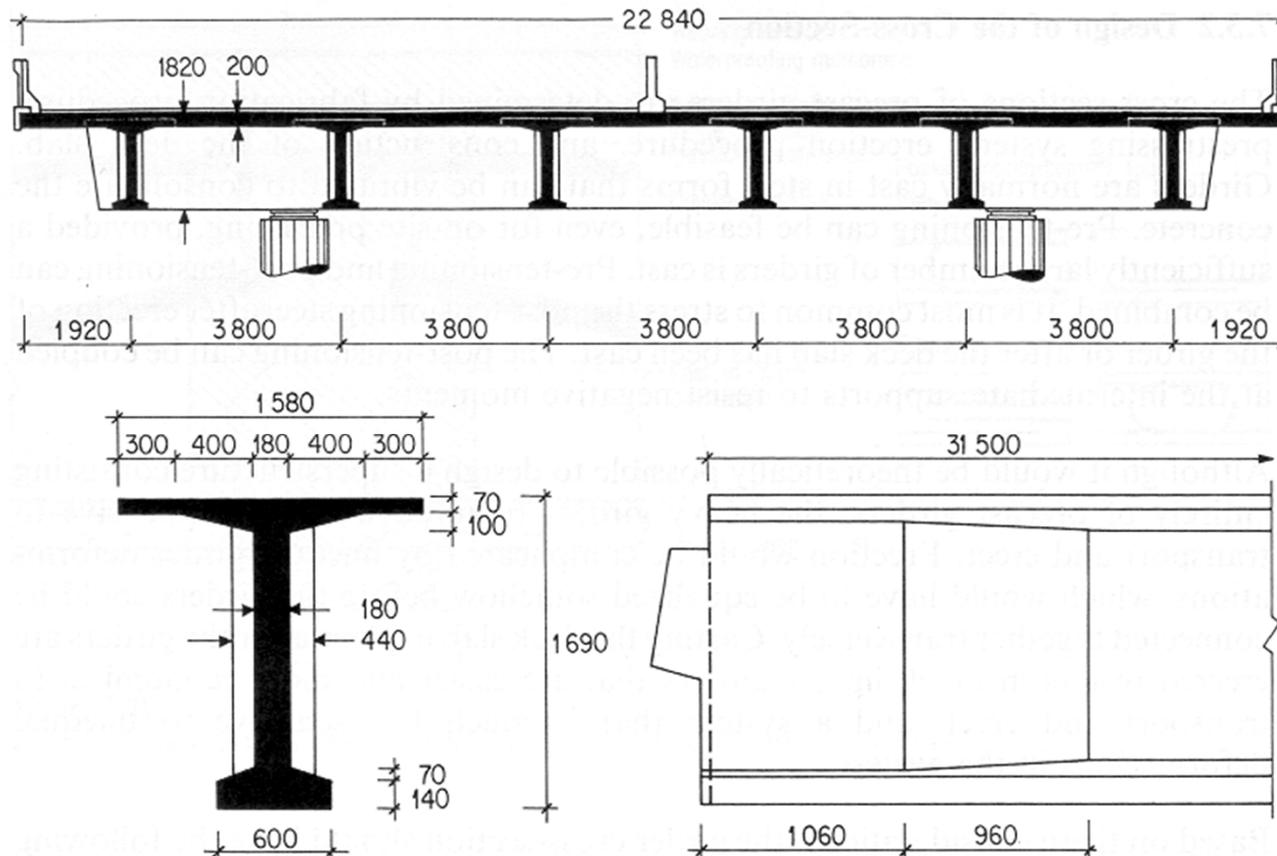
- |       |  |
|-------|--|
| 1     | Aglomerado                               |
| 2     | Impermeabilización                       |
| <hr/> |  |
| 3     | Pretensado de la viga prefabricada       |
| 4     | Postesado de la viga prefabricada        |
| 5     | Pretensado de continuidad                |
| 6     | Refuerzo de la losa (posible pretensado) |
| 7     | Refuerzo pasivo sobre apoyo (en espera)  |



### <4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪ Ejemplo de tablero continuo de vigas prefabricadas: *viaducto de Yverdon* (Suiza)

<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2.3) Tramos Gerber

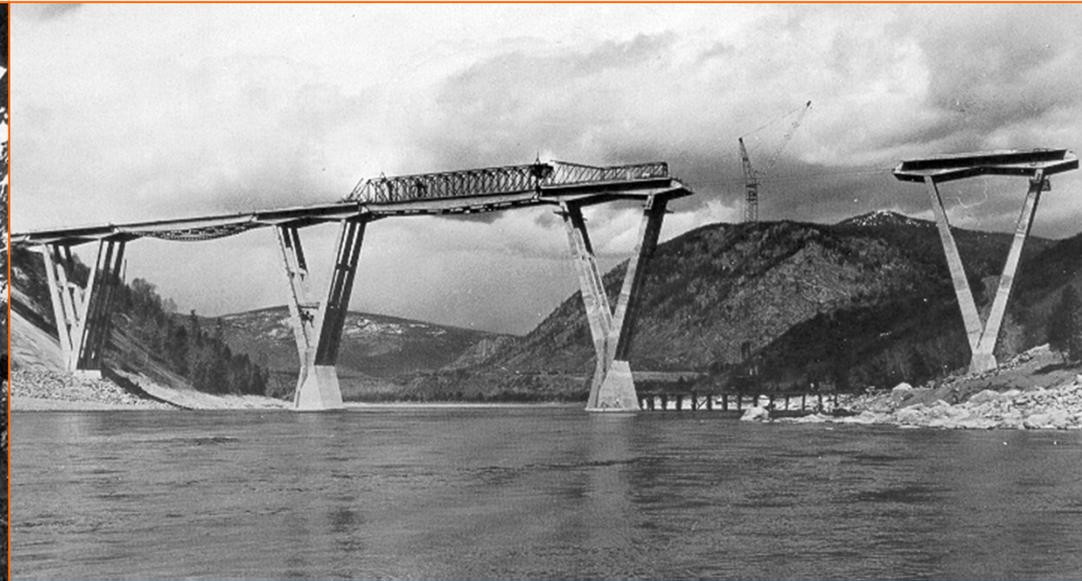
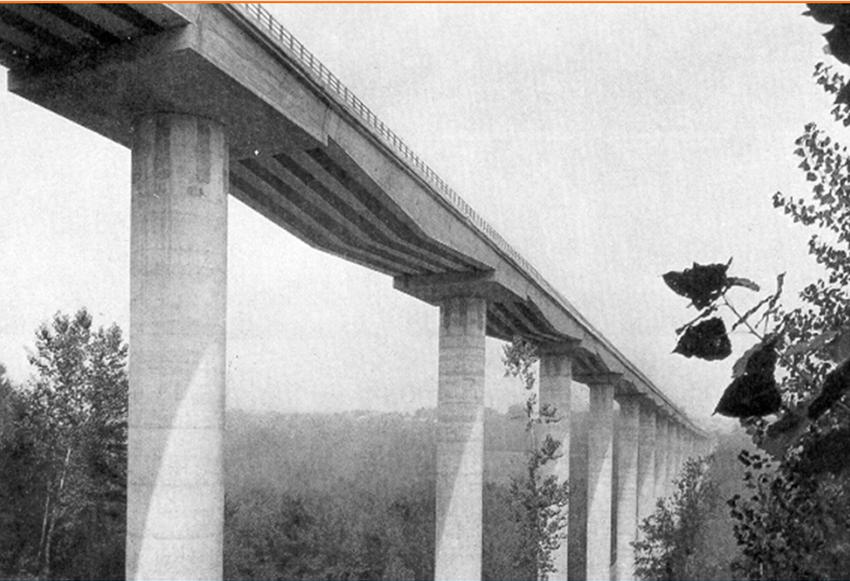
- Esta disposición permite salvar **vanos de mayor longitud** que las vigas empleadas, alternando tramos sobre pilas y tramos apoyados a media madera



- El tramo sobre pilas suele estar *simplemente apoyado*, con canto constante **si este se prefabrica**, o bien como *pórtico de canto variable* si se **hormigona in situ**

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Como inconvenientes principales, puede mencionarse la presencia de numerosas juntas así como la *singular estética de* estas obras



<4.1.1 Características morfológicas de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

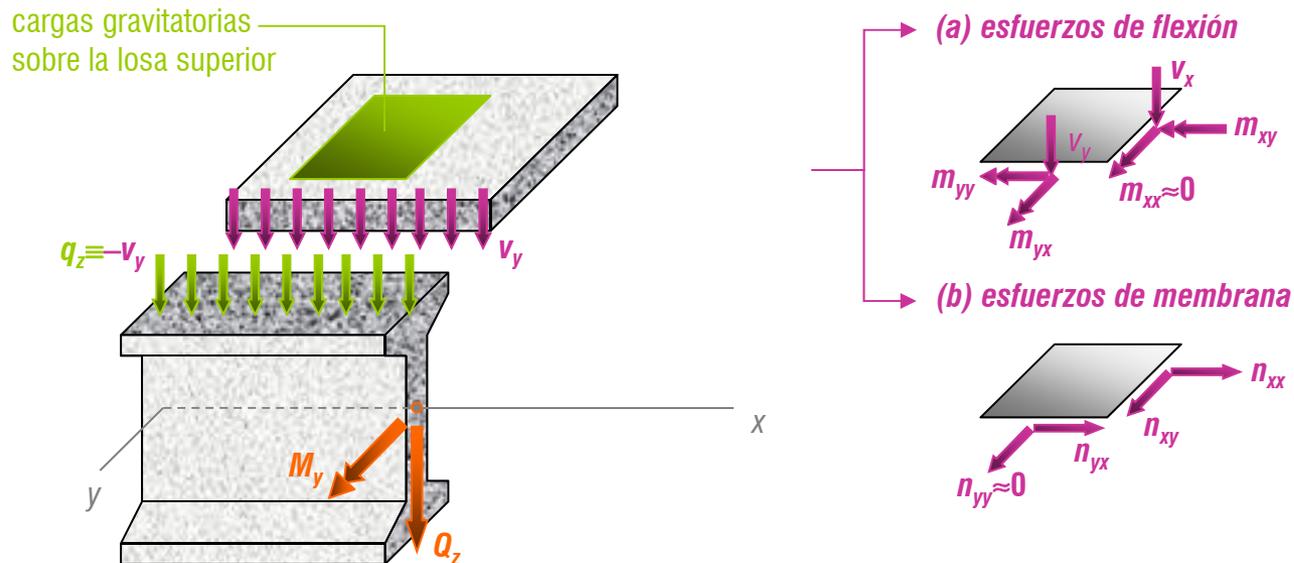


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Esfuerzos implicados en la respuesta resistente del tablero (nos centraremos en las acciones gravitatorias, que son las que más condicionan el diseño de los tableros de vigas y, en general, de los tableros de luces cortas y medias)

- VIGAS LONGITUDINALES: están **principalmente flectadas en el plano vertical** (esfuerzos  $Q_z$  y  $M_y$ ). Además, el pretensado y la interacción con la losa superior introducen axiles  $N_x$  y torsores  $M_x$  debido a las densidades  $q_x$  y  $m_x$



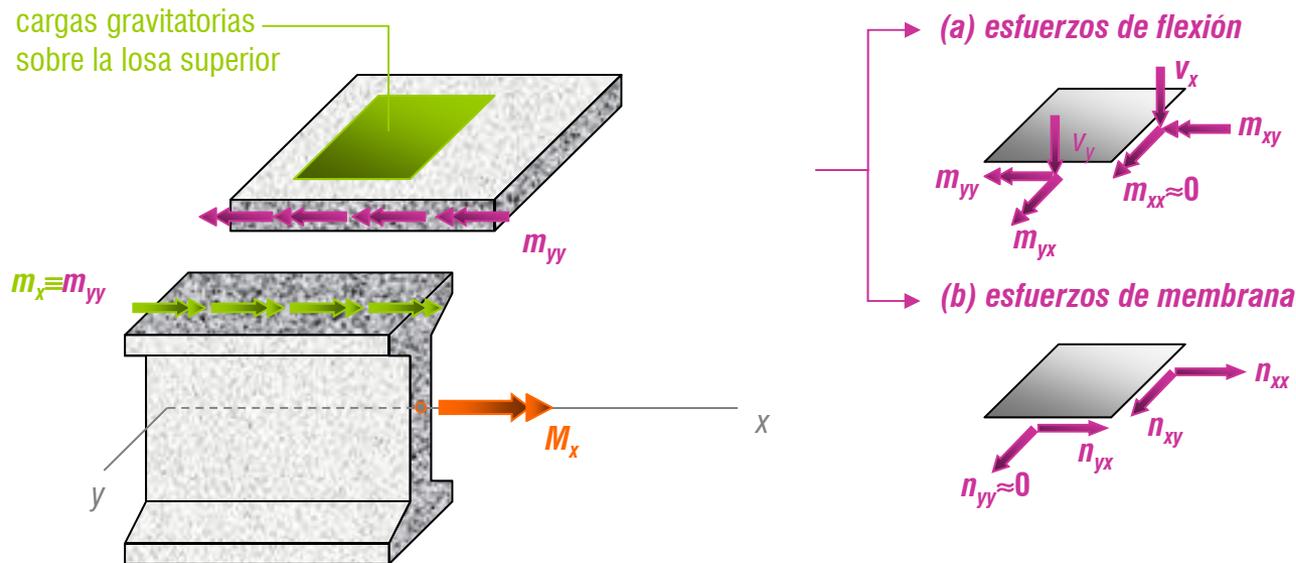
<4.1.2 Características estructurales de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Esfuerzos implicados en la respuesta resistente del tablero (nos centraremos en las acciones gravitatorias, que son las que más condicionan el diseño de los tableros de vigas y, en general, de los tableros de luces cortas y medias)

- VIGAS LONGITUDINALES: están **principalmente flectadas en el plano vertical** (esfuerzos  $Q_z$  y  $M_y$ ). Además, el pretensado y la interacción con la losa superior introducen axiles  $N_x$  y torsores  $M_x$  debido a las densidades  $q_x$  y  $m_x$



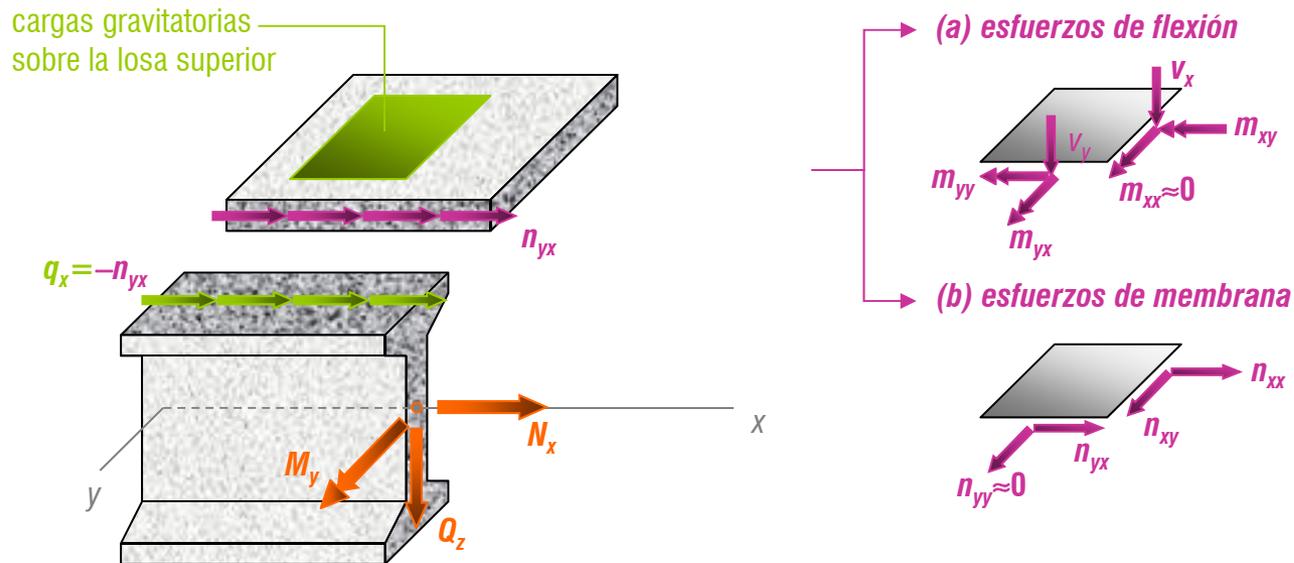
<4.1.2 Características estructurales de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Esfuerzos implicados en la respuesta resistente del tablero (nos centraremos en las acciones gravitatorias, que son las que más condicionan el diseño de los tableros de vigas y, en general, de los tableros de luces cortas y medias)

- VIGAS LONGITUDINALES: están **principalmente flectadas en el plano vertical** (esfuerzos  $Q_z$  y  $M_y$ ). Además, el pretensado y la interacción con la losa superior introducen axiles  $N_x$  y torsores  $M_x$  debido a las densidades  $q_x$  y  $m_x$



<4.1.2 Características estructurales de los tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- LOSA SUPERIOR: está *principalmente* sometida a *flexión transversal*  $m_{yy}$ , pero también se crea un estado membrana,  $n_{yx}$ ,  $n_{xy}$  y  $n_{xx}$  debido al reparto de la flexión longitudinal entre vigas (que induce  $\Delta q_x$ ) y a la excentricidad de su plano medio respecto al plano neutro del tablero. Además, los cortantes  $v_y$  y  $v_x$  equilibran directamente las cargas verticales actuantes
- RIOSTRAS TRANSVERSALES: si estas existen, sus condiciones de trabajo serán análogas a las de las vigas longitudinales (flexión y torsión), creándose una interacción entre ambas propia de un *emparrillado*. También afectarán a los esfuerzos en la losa, aunque en menor medida que las vigas longitudinales, a causa de la presencia de bordes libres

### <4.1.2 Características estructurales de los tableros de vigas>

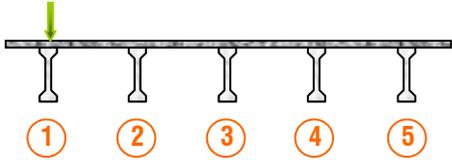
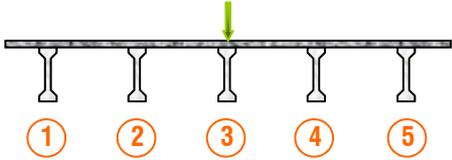
### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ **Parámetros morfológicos que rigen la eficacia de este tipo de tableros** (que favorecen el reparto transversal). Estos son:

- La rigidez a torsión de las vigas ( $EI_{\omega}$  o  $GJ$  según corresponda, a menor rotación  $\theta_x$  de la viga mayor empotramiento de la losa)
- La proximidad entre vigas, la presencia de riostras y la proporción  $L/B$
- $Lh_c^3/12I_y$  (mide la relación entre rigidez de flexión de losa y vigas. Según se desprende de la Tabla, los tableros cortos o poco esbeltos reparten peor)

	$L=40\text{ m}, h=2\text{ m}$		$L=20\text{ m}, h=2\text{ m}$		$L=20\text{ m}, h=1\text{ m}$	
	$w/w_{max}$	$\sigma/\sigma_{max}$	$w/w_{max}$	$\sigma/\sigma_{max}$	$w/w_{max}$	$\sigma/\sigma_{max}$
						
viga 1	1	1	1	1	1	1
viga 2	0.456	0.330	0.251	0.145	0.351	0.231
viga 3	0.130	0.048	0.039	-0.0046	0.063	0.011
viga 4	-0.013	-0.025	-0.0077	-0.0062	-0.014	-0.017
viga 5	-0.095	-0.031	-0.054	-0.014	-0.044	-0.0036
						
viga 1	0.300	0.101	0.055	-0.0058	0.128	0.030
viga 2	0.680	0.452	0.323	0.208	0.514	0.340
viga 3	1	1	1	1	1	1
viga 4	0.680	0.452	0.323	0.208	0.514	0.340
viga 5	0.300	0.101	0.055	-0.0058	0.128	0.030

### <4.1.2 Características estructurales de los tableros de vigas>

### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### □ GEOMETRÍA GLOBAL Y DE LAS VIGAS

(1)  $L \leq 45 \text{ m}$

(2)  $h/L \in [1/30, 1/10]$

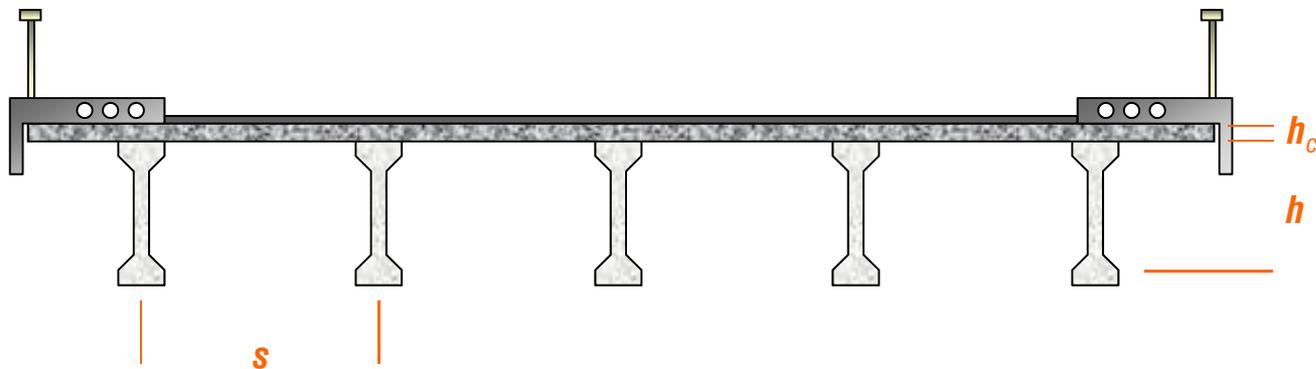
normalmente  $h/L \approx 1/17$  ■

Si  $s \uparrow$  (caso de las secciones en  $\pi$ ):  $h/L \sim 1/10$

Si  $s \downarrow$  (pretensado por adherencia):  $h/L \sim 1/30$

(3) Espesor de la losa superior. En general se puede tomar:

$h_c = s/12 - 0.05 \text{ m}$  ■



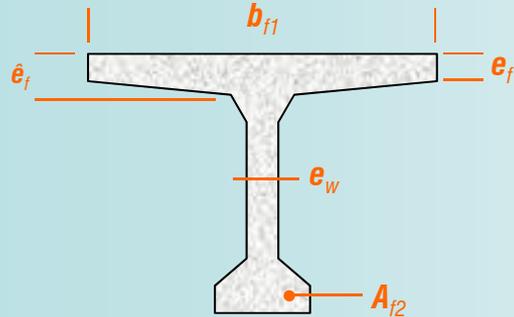
#### <4.1.3 Diseño de tableros de vigas>

#### <4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

(4) Espesores de pared (fórmulas de Guyon para vigas de ala ancha)



$$s = L/36 + 2 \text{ m}$$

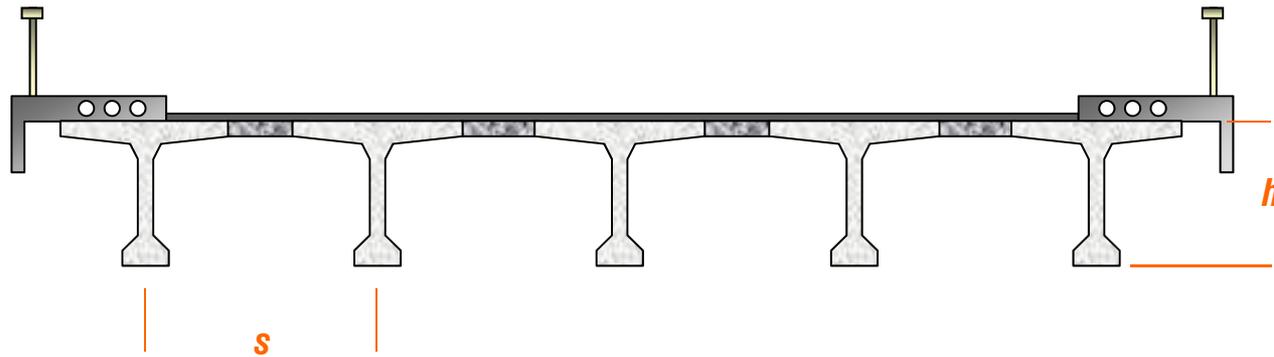
$$e_w = h/36 + \emptyset_{\text{vaina}} + 0.05 \text{ m}$$

$$e_{f1} = s/9 - 0.06 \text{ m}$$

$$e_f = 0.5 \text{ a } 0.6 e_{f1}$$

$$b_{f1} = 0.9h$$

$$(h/s)A_{f2} \approx L/150 - 1/12, L(m) \text{ y } A_{f2}(m^2)$$



<4.1.3 Diseño de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

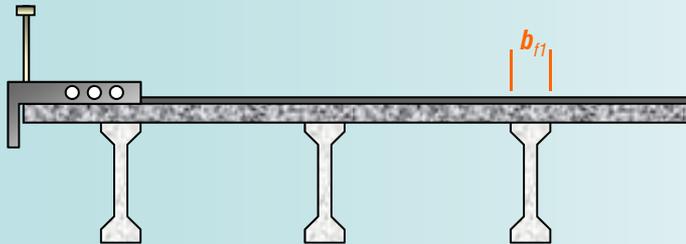


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (5) Variantes a las vigas de ala ancha

- ❑ **Vigas en I:** requieren más comprobaciones durante la construcción, respecto al pandeo lateral y a la flexión (no cuentan con la losa superior). El área de la cabeza superior es similar a la de la cabeza inferior



$$A_{f1} \approx A_{f2}$$

$$b_{f1} = 0.3 \text{ a } 0.4h$$

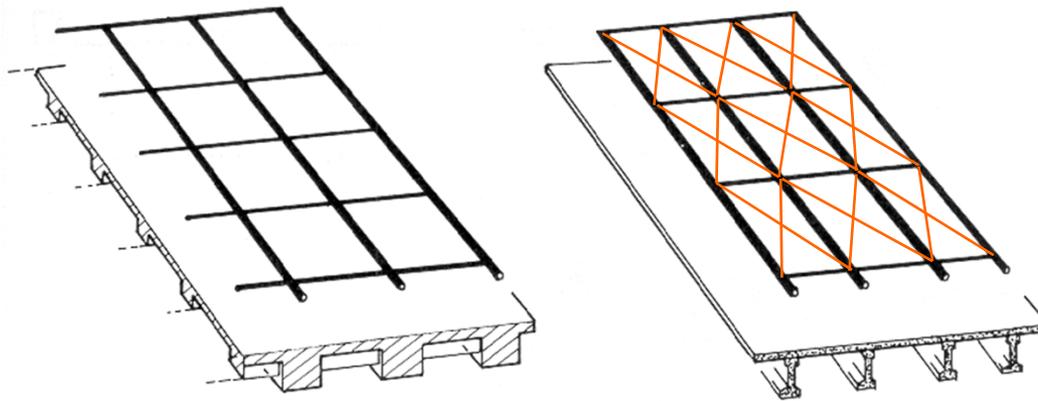
- ❑ **Vigas en artesa:** son más caras que las de sección abierta puesto que se necesita un molde interior adicional y  $e_w \uparrow$ , en cambio mejoran el reparto transversal ( $GJ \uparrow$ ) y permiten un mejor control de la flexión en la losa superior



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### □ Selección del modelo de análisis

▪EMPARRILLADO PLANO. Es eficiente y su aplicación está suficientemente contrastada en los tableros de vigas más usuales. **No capta el trabajo de membrana de la losa** superior y por lo tanto debe adaptarse adecuadamente para procesar las acciones horizontales (*pasar de 3 a 6 GDL y disponer diagonales*)



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

<4.1.4 Elementos para el análisis de tableros de vigas>

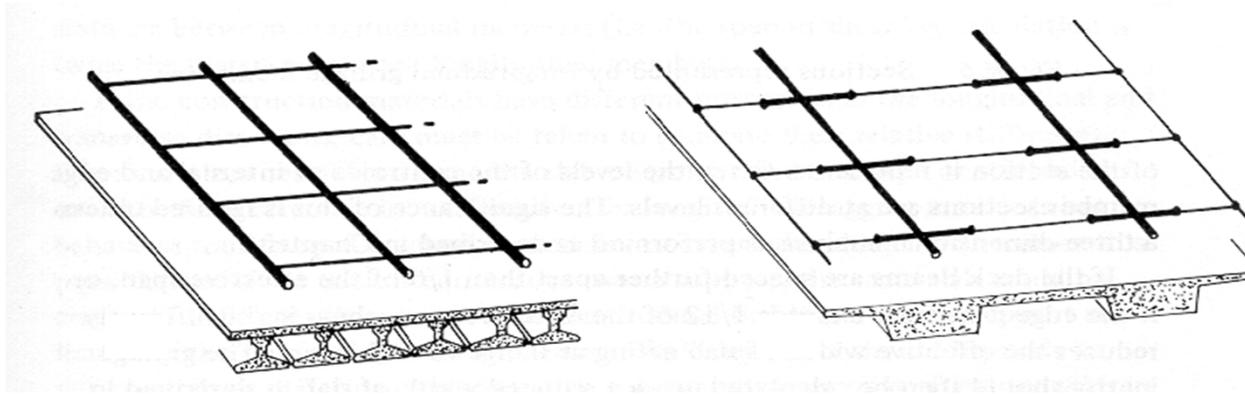
<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

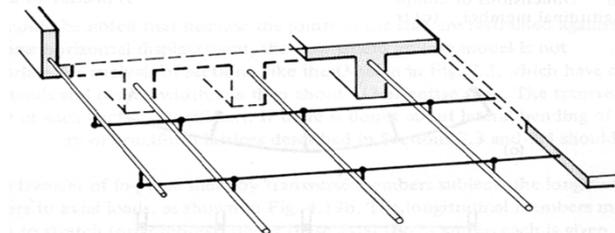
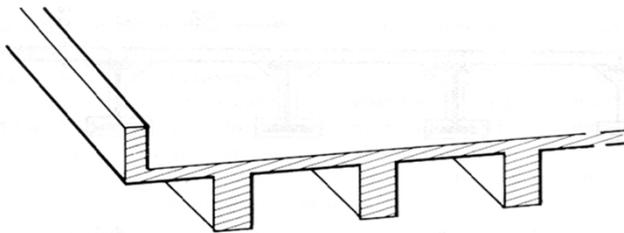
- EMPARRILLADO PLANO. *Tampoco capta la interacción espacial vigas-losa*, por lo que no se recomienda para tableros de pocas vigas poco esbeltas, y requiere cálculo local



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

## 04 Diseño de tableros de hormigón

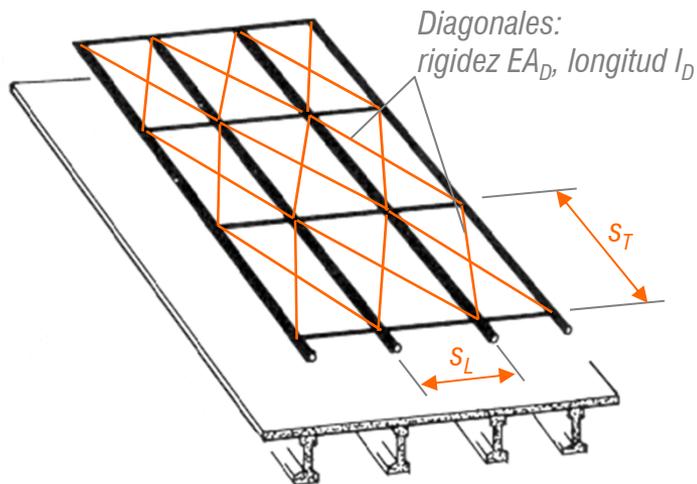
- EMPARRILLADO ESPACIAL. Es especialmente indicado precisamente cuando las vigas resultan poco esbeltas al adoptar separaciones crecientes entre ellas (*tableros de dos vigas hormigonados in situ...*). Para ello requiere la incorporación de *nudos de dimensión finita* y el cómputo de 6 GDL por nudo, pero sin embargo **tampoco capta el trabajo de membrana de la losa**



- MODELO HÍBRIDO. Resuelve perfectamente la principal carencia del modelo emparrillado al modelar la *losa* mediante **elementos finitos 2D** y contemplar sistemáticamente la organización espacial del tablero. Además proporciona de forma natural la **flexión local de la losa superior**

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- EMPARRILLADOS: simulación de la rigidez de membrana de la losa superior, de espesor  $h_c$ , mediante diagonales; rigidez y esfuerzos rasantes equivalentes



$$EA_D = \frac{1}{2} \left( \lambda + \frac{1}{\lambda} \right) Gh_c l_D$$

$$N_{xy} = 2 \frac{N_D}{l_D}$$

$$\lambda = \frac{s_T}{s_L}, \quad l_D = \sqrt{s_T^2 + s_L^2}$$

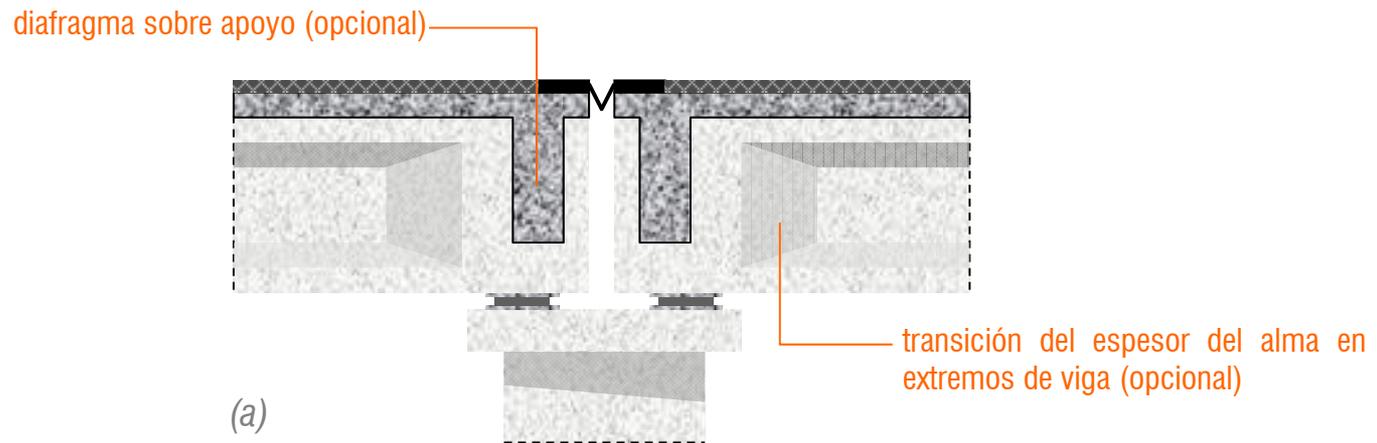
## 04 Diseño de tableros de hormigón

- ❑ **Organización del cálculo** (*el diseño adoptado para el tablero no solo determina la selección del modelo, también establece un proceso constructivo que condiciona a su vez la secuencia de cálculo*)
  - **Carga muerta, cargas variables y acciones accidentales en servicio.** Estas acciones actúan sobre la estructura completa, por lo tanto requieren procesar el modelo seleccionado para el análisis en servicio
  - **Cargas permanentes.** Solicitan a las vigas individualmente (peso de las vigas y de la losa)
  - **Cargas permanentes de valor no constante.** En general el pretensado actuará sobre cada viga por separado (pretensado en una sola fase). Sin embargo su evolución en el tiempo debido a la reología del hormigón se desarrollará con la estructura completada y su computo será con el modelo global
  
- ❑ **La aportación de los fabricantes de vigas**
  - **Los catálogos**
  - **La ingeniería de apoyo al proyecto**

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### □ Geometría de los extremos de las vigas

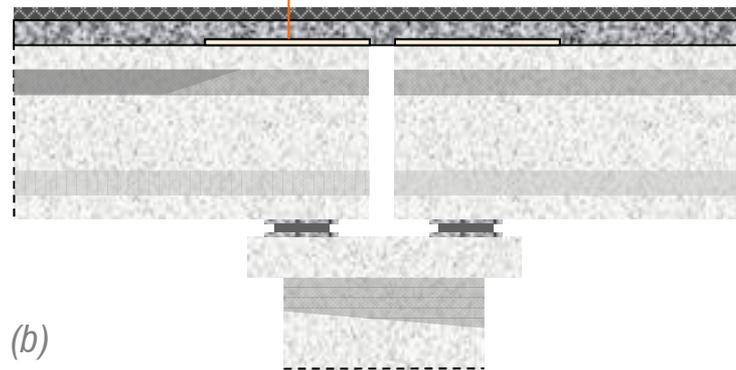
- Una disposición que favorece la transición de tensiones tangenciales al aproximarnos a los apoyos consiste en **augmentar linealmente el espesor del alma de la viga**
- Por su parte, el **diafragma sobre apoyos** se ejecuta en obra y permite coaccionar el giro de torsión de cada una de las vigas longitudinales, favoreciendo de ese modo el reparto transversal del tren de cargas



## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Sin embargo hoy en día la **disposición más usual** consiste en prescindir de ambas mejoras, dando en cambio continuidad a la losa superior, adecuadamente desconectada en torno a los apoyos extremos. Con ello se pretende reducir al máximo las operaciones en obra, con el fin de acortar plazos y no depender de la disponibilidad de oficiales (encofradores y ferrallas)

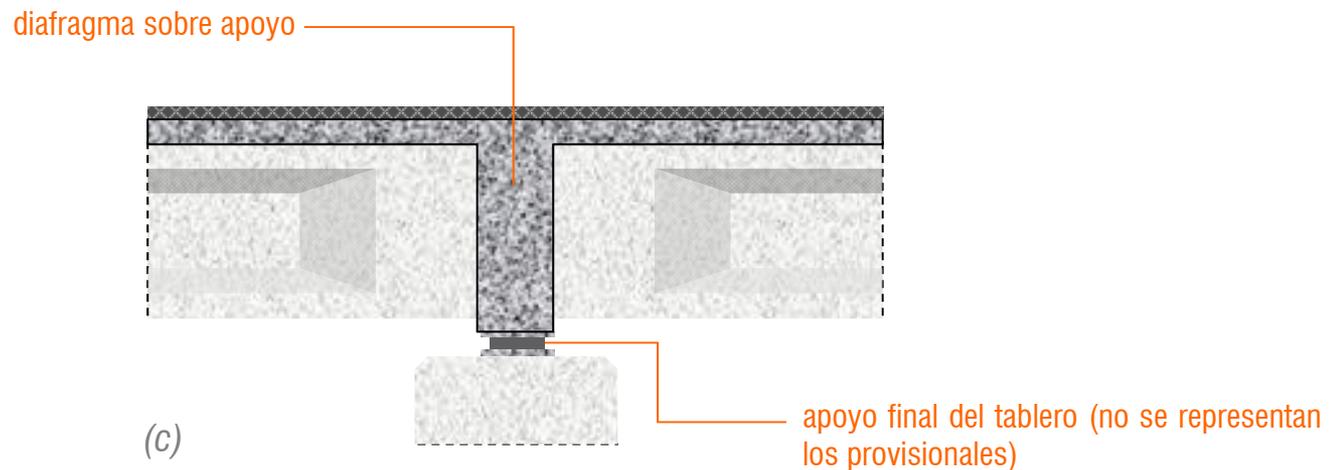
desconector (elastómero  
o porexpán)



- Otra práctica en desuso por idénticos motivos es la disposición de **diafragmas intermedios**, aunque favorezca el reparto transversal. Además y desde un punto de vista exclusivamente estético, en el caso de requerir pretensado, la presencia de anclajes en las caras vistas de las vigas laterales perjudica el aspecto del puente

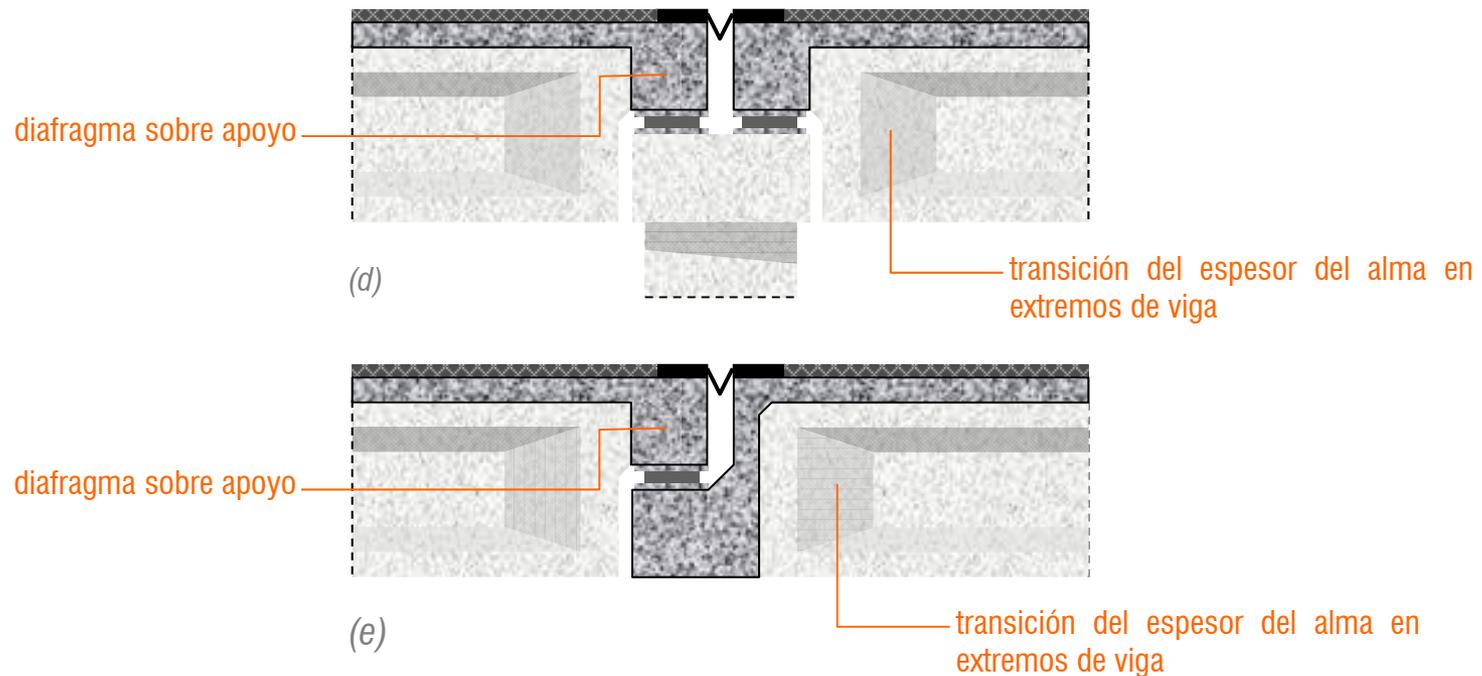
## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Abundando en la continuidad funcional y estructural, la formación de **un diafragma entre extremos** no solo permite la colocación de los acopladores de cables del pretensado de continuidad, sino que también posibilita suprimir apoyos individualizados de las vigas (*sin embargo ya se señaló que esta disposición no es usual, debido a las dificultades constructivas que conlleva*)



## 04 Diseño de tableros de hormigón

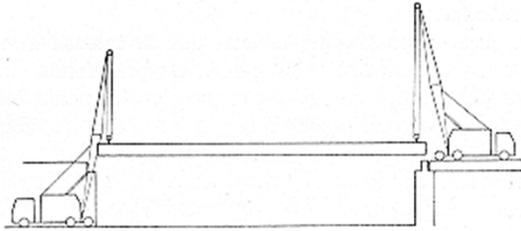
- En cuanto a las **medias maderas**, en pro de una mayor calidad estética de las obras, permiten disimular los apoyos dentro del canto del tablero (*d*) y resultan indispensables en los tramos Gerber (*e*)



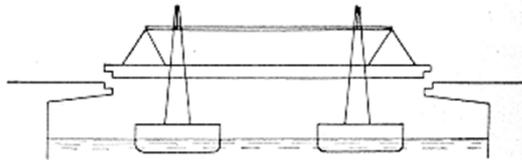
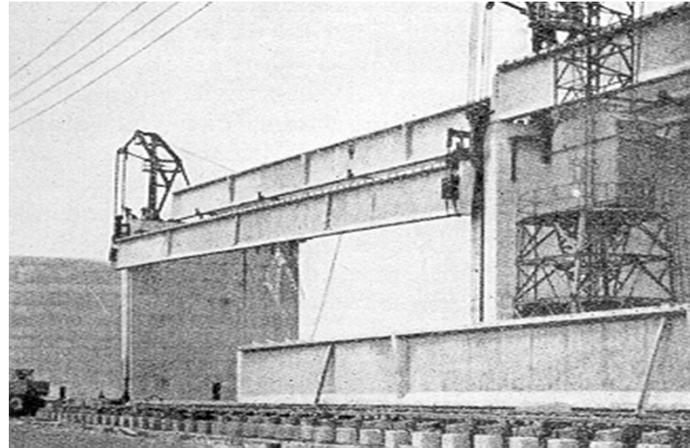
## 04 Diseño de tableros de hormigón

- ❑ Ejecutadas las *subestructuras* (cuyo diseño está íntimamente ligado al tipo de tablero seleccionado) y los *aparatos de apoyo*, se procede a la *colocación de las vigas* y al *hormigonado de la losa superior* y voladizos laterales
  
- ❑ **Sistemas de colocación de vigas prefabricadas**
  - El criterio de selección del sistema de colocación de las vigas es exclusivamente *económico*, siendo determinante las características físicas del emplazamiento (cauce navegable, terreno irregular o plano...)
  - Básicamente, se dispone de dos procedimientos para la colocación de las vigas:
    - (a) *Por elevación*
    - (b) *Por lanzamiento*

## 04 Diseño de tableros de hormigón



(a.1) Por elevación, mediante grúas



(a.2) Transporte y elevación desde plataforma flotante



(a) Este procedimiento requiere emplazamientos accesibles por carretera o cauces navegables, para facilitar el transporte de las vigas.

La elevación puede llevarse a cabo desde la coronación de las pilas, mediante vehículos grúa (su número dependerá del tamaño y peso del elemento) y en su caso, desde una plataforma flotante

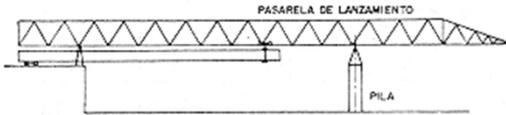
<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

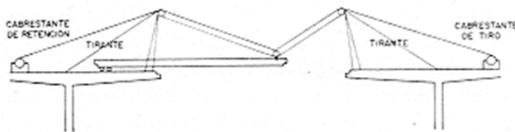
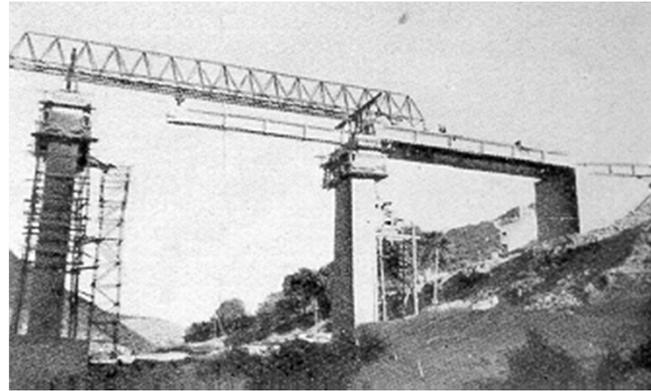


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

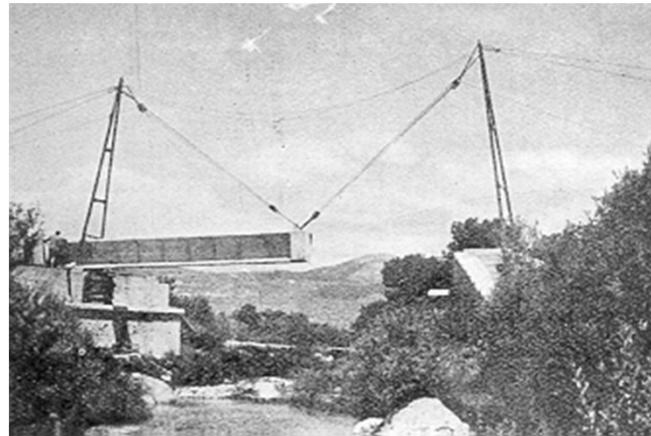
## 04 Diseño de tableros de hormigón



*(b.1) Por lanzamiento longitudinal, mediante viga lanzadera*



*(b.2) por lanzamiento longitudinal, mediante torres y cables*



(b) Este sistema permite colocar todas las vigas en su posición final con total independencia de las características físicas del emplazamiento. Para ello, se comienza desde un estribo y se avanza sobre el tablero ejecutado.

En un puente de un solo vano, se emplea el sistema de grúas y cables (serie del Marne de Freyssinet) mientras que la lanzadera es rentable en viaductos

<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

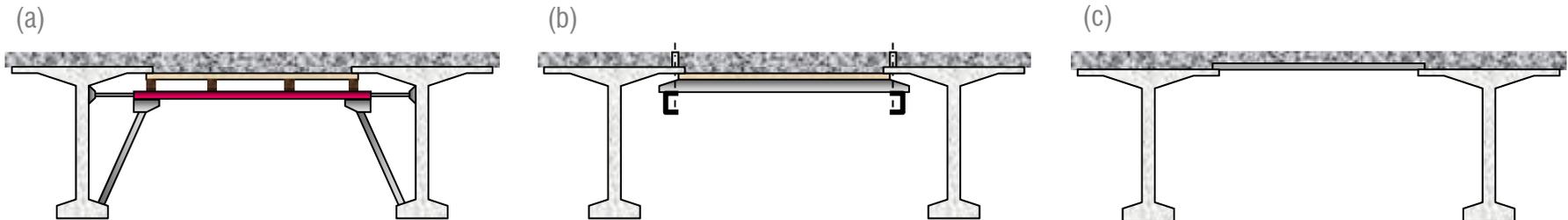
### □ Ejecución de la losa superior y de los voladizos laterales

▪ Cuando la losa se hormigona sobre las vigas, existen tres posibilidades:

(a) mediante encofrado recuperable apoyado

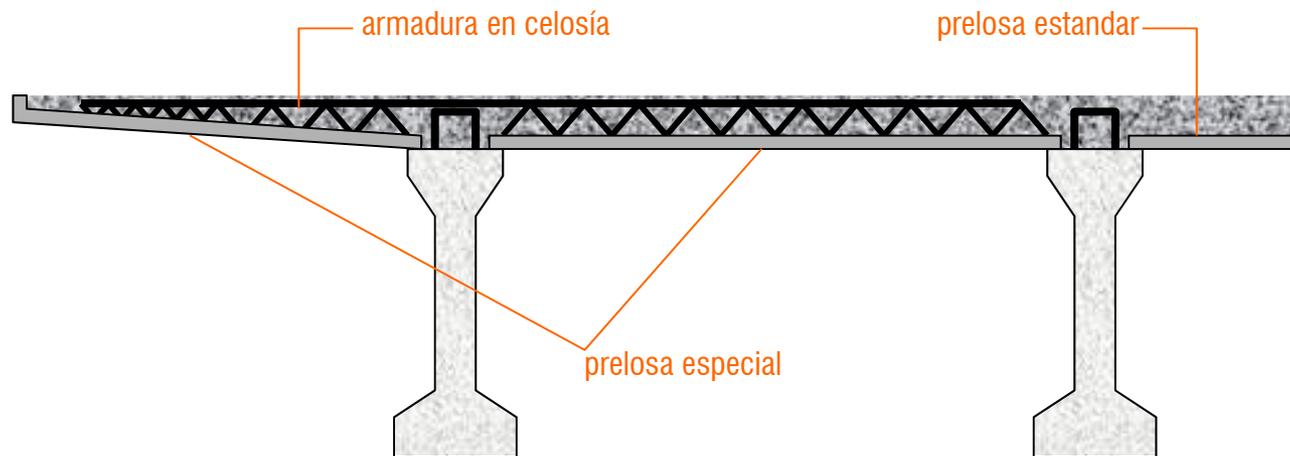
(b) mediante encofrado recuperable suspendido

(c) mediante prelosas que actúan de *encofrado perdido*. Por su sencillez constructiva, *se suele preferir esta última opción*



## 04 Diseño de tableros de hormigón

- Si la losa se hormigona por *bandas entre alas* superiores, resulta inevitable el encofrado recuperable, suspendido o apoyado, (a) o (b)
- En cuanto a los posibles *voladizos laterales*, además de poder adaptar la opción (a), también cabe emplear prelasas especiales, que incorporen parte de la armadura transversal de la losa



## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Ejemplo urbano: “Pont del Regne”, S. Monleón, Valencia (1999)

- Aspecto general de la obra terminada: *las dos caras de la moneda*
- Dos tableros mejor que uno



<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## **04 Diseño de tableros de hormigón**

### □ Ejemplo urbano: “Pont del Regne”, S. Monleón, Valencia (1999)

- Cada tablero tiene nueve vanos idénticos, de 22.5 m de luz, vertebrados por tres vigas artesa de canto variable
- La losa sobre vigas se ejecutó mediante prelosas pretensadas, salvo el voladizo interior



<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### □ Ejemplo urbano: “Pont del Regne”, S. Monleón, Valencia (1999)

- Vista general de las pilas
- Colocación de las vigas mediante grúa



<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>

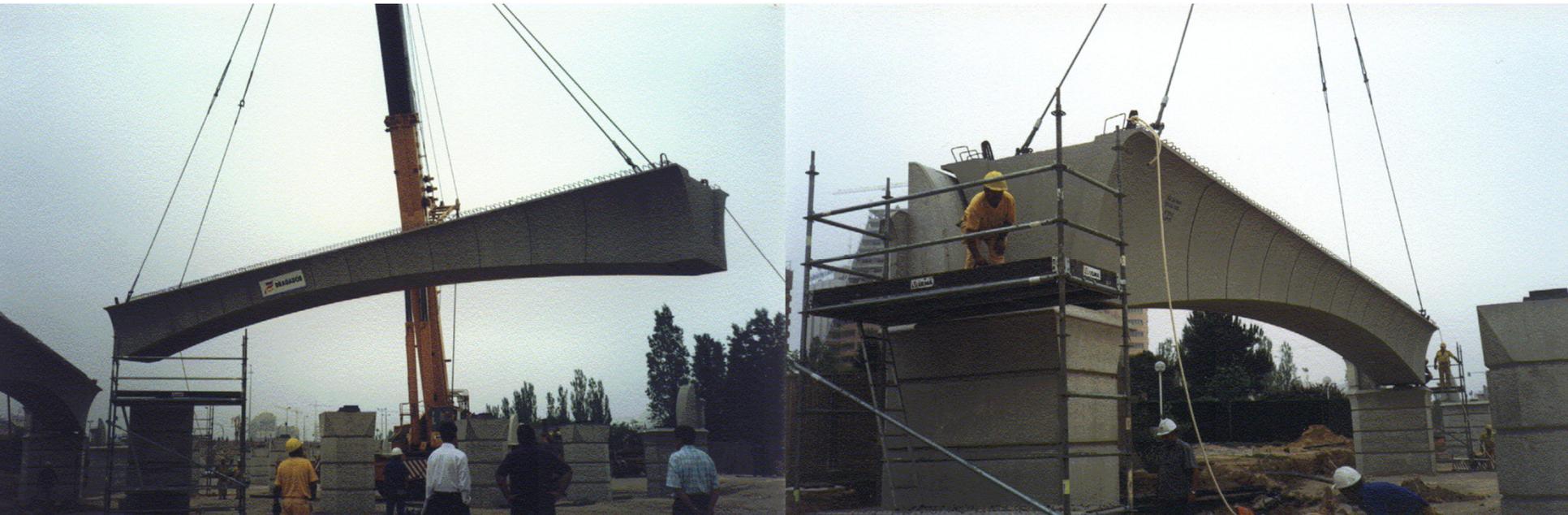


UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

## **04 Diseño de tableros de hormigón**

□ Ejemplo urbano: “Pont del Regne”, S. Monleón, Valencia (1999)

- Desplazamiento y apoyo de las vigas



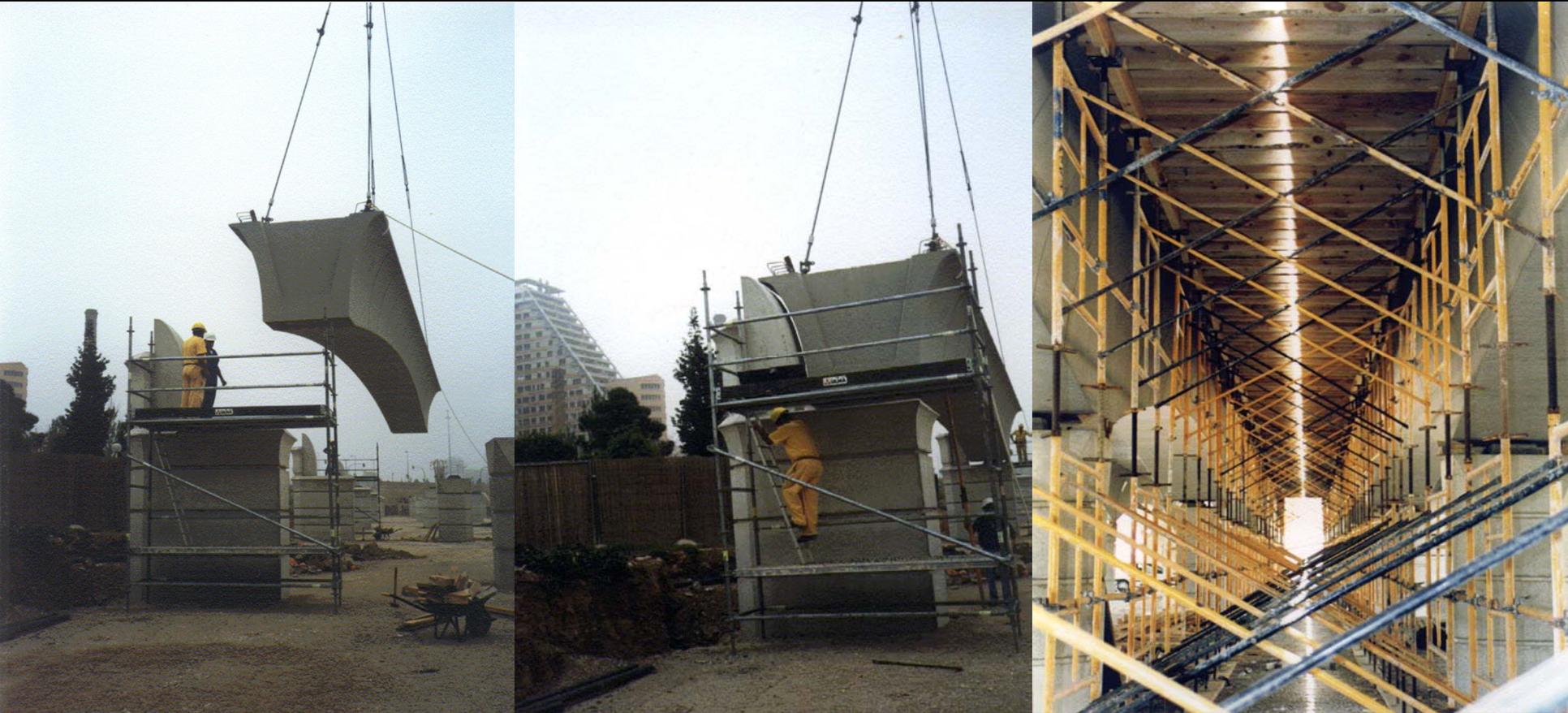
<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

## **04 Diseño de tableros de hormigón**



<4.1.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros de vigas>

<4.1 CONCEPCIÓN DE TABLEROS DE VIGAS>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Los objetivos del tema *concepción de tableros losa* son:

1. Clasificar estas construcciones desde un punto de vista morfológico y analizar sus características estructurales
2. Aportar criterios adecuados para su dimensionamiento
3. Deducir los modelos estructurales más aptos para reproducir correctamente su comportamiento resistente

□ Esta secuencia de etapas se complementa con unos comentarios relativos a la incidencia del *proceso constructivo* sobre la *metodología de análisis* así como un breve repaso a algunos problemas específicos de armado y de ejecución que estos pueden tener (oblicuidad, proporción ancho/luz...)

## 04 Diseño de tableros de hormigón

❑ Los tableros losa, al sacrificar la **eficiencia estructural** a la **sencillez constructiva**, se sitúan en el polo opuesto de los tableros de vigas

❑ **Problema constructivo**: la evidente sencillez geométrica de estas construcciones permite una ejecución in situ **simple, luego económica** si la longitud total es moderada. Además, se adapta perfectamente a **cualquier geometría en planta**

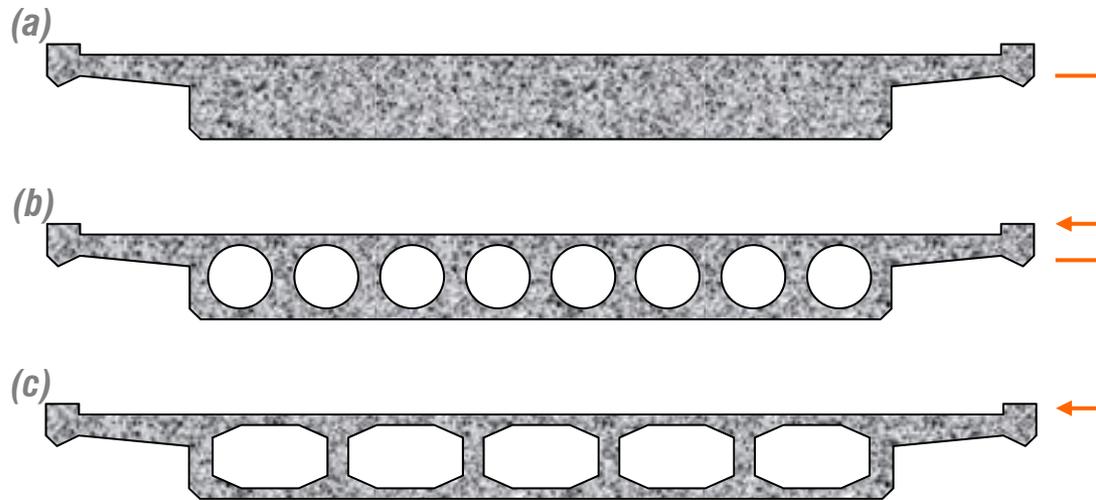


❑ **Problema resistente**: al presentar una distribución uniforme de rigidez a flexión, la losa maciza (a) constituye la solución estructural **menos eficiente** para el diseño de la sección transversal de un puente (omite las direcciones principales de flexión inducidas por la posición en planta de los apoyos)

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Este defecto puede atenuarse aligerando la sección transversal mediante **alvéolos circulares (b)** o **rectangulares (c)**. Ambas disposiciones permiten abordar luces mayores al reducir el peso propio manteniendo la rigidez

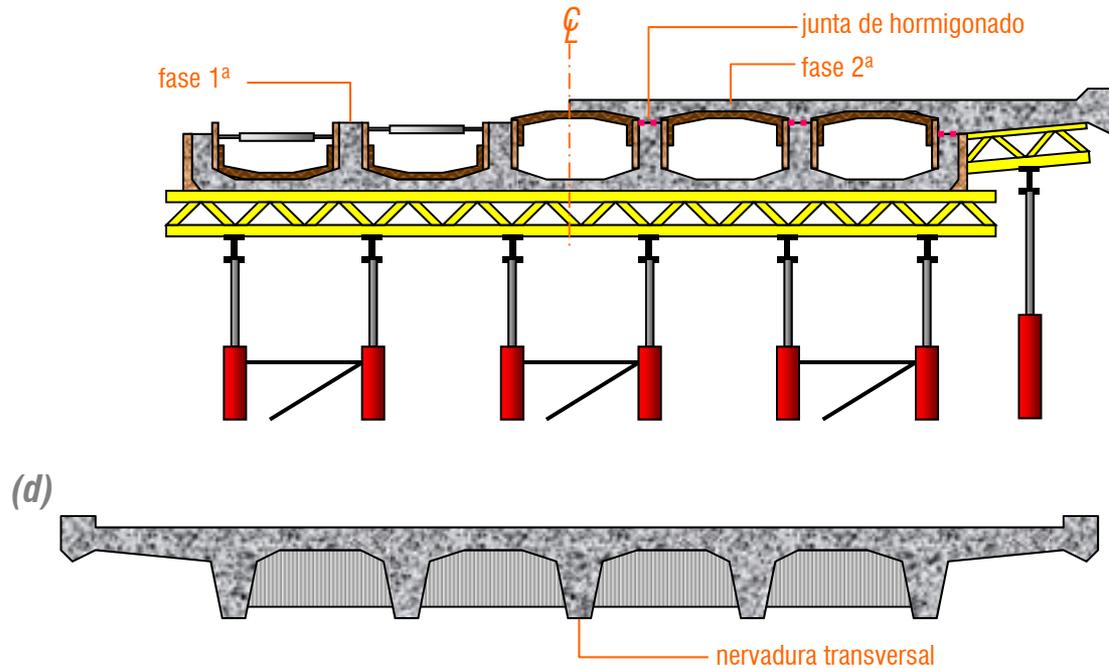
### (1) Diseño de la sección transversal



□ La evolución de formas recogida en la secuencia (a) a (c) anterior explicita la búsqueda de una **mayor eficiencia resistente**, coherente con **luces de vano crecientes**

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Los aligeramientos rectangulares (c) son más eficientes pero resultan más caros, tanto si se utiliza moldes perdidos como si se ejecuta el tablero por fases: losa inferior y almas con encofrados recuperables y losa superior con encofrado perdido, que puede ser una prelosa de hormigón. La **losa nervada** (d) reduce el problema, a costa de una caída de rigidez



<4.2.1 Características morfológicas de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



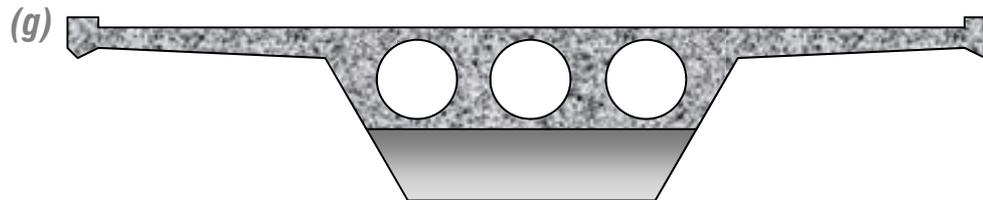
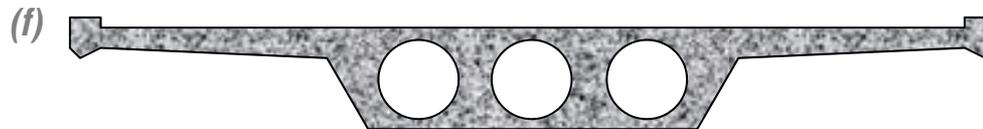
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Alternativamente, el rendimiento estructural puede mejorarse **concentrando** la rigidez de la sección. El ancho del tablero se completa entonces mediante **voladizos laterales** (e)



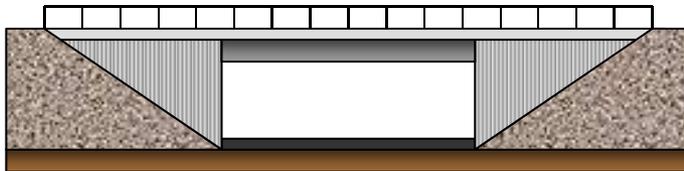
□ Las opciones **aligeradas** mediante celdas circulares (f) o bien rectangulares, e incluso de **canto variable** (g) permiten extender las luces máximas asociadas a esta morfología, aunque estructuralmente el resultado se aproxima más a una viga, y también resulta más complejo y en general costoso de construir



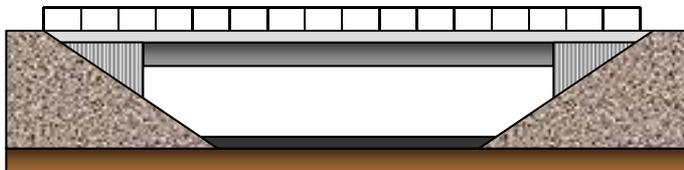
## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Configuración longitudinal

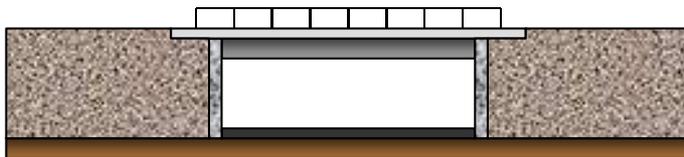
**(2.1) Losas simplemente apoyadas:** el diseño de los estribos (muros de vuelta o aletas) constituye la principal dificultad estética de estas obras



*Estribos cerrados con muros de vuelta excesivamente altos comparados con el canto del tablero*



*Aspecto mejorado de la solución anterior, a costa de aumentar la luz de la losa, así como el coste de la obra*



*Estribos con aletas. La solución anterior produce un desafortunado efecto túnel que puede atenuarse con esta opción*

<4.2.1 Características morfológicas de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

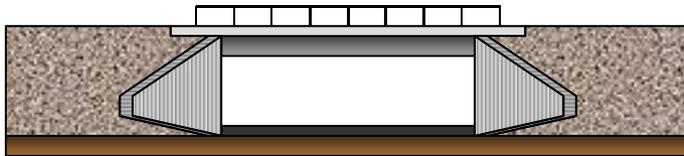


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

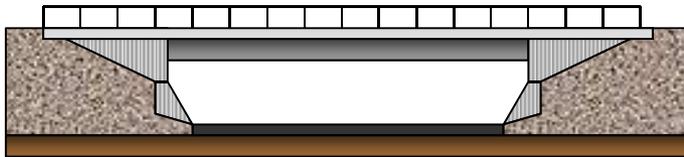
## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Configuración longitudinal

**(2.1) Losas simplemente apoyadas:** el diseño de los estribos (muros de vuelta o aletas) constituye la principal dificultad estética de estas obras



*Aspecto mejorado de la disposición anterior, consistente en quebrar las aletas*



*Estribos cerrados con doble cuerpo. También pretenden restar monolitismo a la solución inicial, al dividir el muro frontal en dos porciones*



*Estructura trapezoidal que resuelve correctamente el diseño del paso inferior cuando la luz es corta*

<4.2.1 Características morfológicas de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



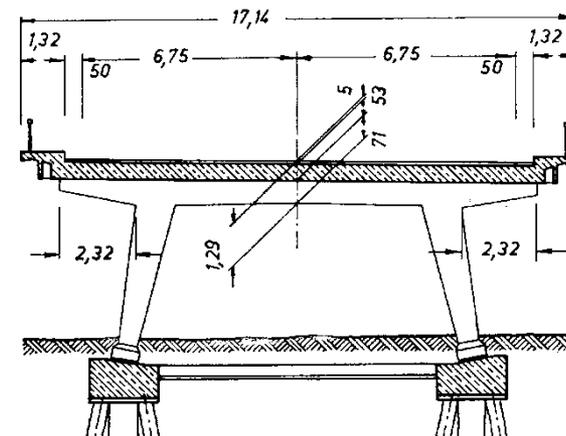
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Configuración longitudinal

(2.2) **Losas continuas**: su *aspecto general* y su *comportamiento estructural* son enormemente tributarios tanto de la forma de la sección transversal como de la disposición de las pilas y de la posible variación de canto

(a) **Losa de espesor uniforme**: para garantizar un buen *reparto* de las cargas, es necesario *contener la deformación* de la sección transversal de la losa en las secciones apoyadas, disponiendo **pórticos transversales** (calle elevada “Fischerstrasse” en Hannover, 1959)



#### <4.2.1 Características morfológicas de los tableros losa>

#### <4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Configuración longitudinal

(2.2) **Losas continuas**: su *aspecto general* y su *comportamiento estructural* son enormemente tributarios tanto de la forma de la sección transversal como de la disposición de las pilas y de la posible variación de canto

(a) **Losa de espesor uniforme**: para garantizar un buen *reparto* de las cargas, es necesario *contener la deformación* de la sección transversal de la losa en las secciones apoyadas, disponiendo pórticos transversales o bien **pilas múltiples** (puente sobre el río Tormes en Salamanca, 1970)



*Puente sobre el río Tormes, vista general y sección transversal*

<4.2.1 Características morfológicas de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



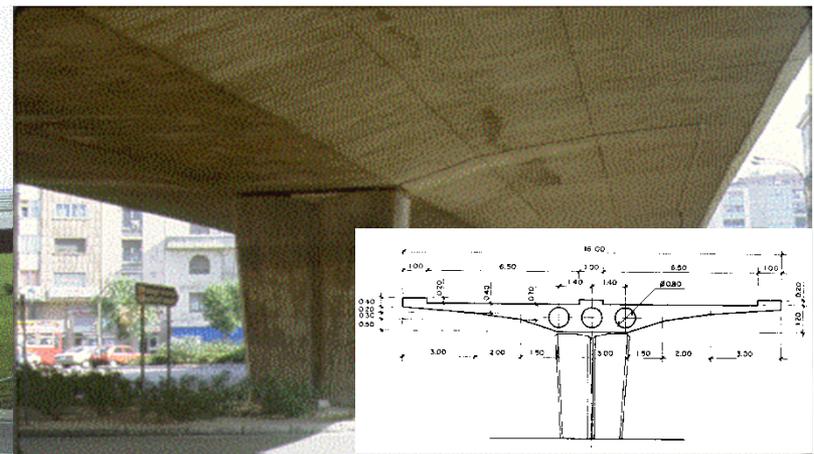
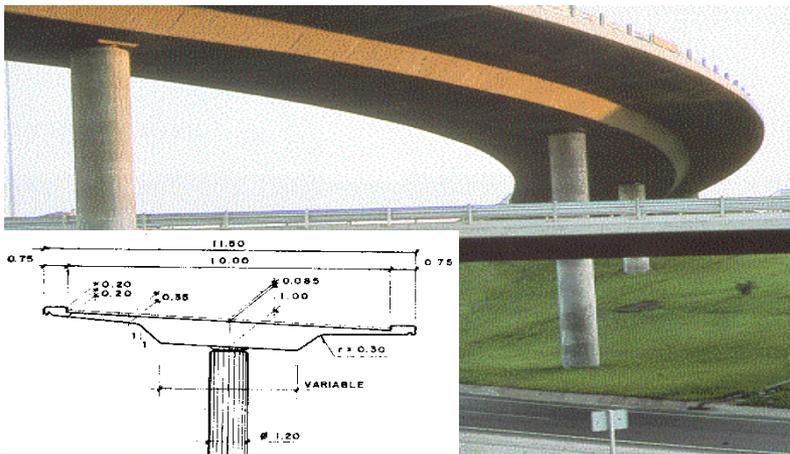
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Configuración longitudinal

(2.2) *Losas continuas*: su *aspecto general* y su *comportamiento estructural* son enormemente tributarios tanto de la forma de la sección transversal como de la disposición de las pilas y de la posible variación de canto

(b) *Losa de alas anchas*: en este caso, la *escasa deformabilidad* del núcleo de la sección transversal en su plano garantiza un buen comportamiento frente a *cargas excéntricas*. La elevada rigidez torsional permite un eficaz transporte de las mismas a lo largo del tablero y autoriza apoyos únicos y diseños de pilas más esbeltas: fustes cilíndricos en el caso del nudo Norte (Madrid 1973, vanos de 25 m) y pilas de doble apoyo para el paso superior de Cuatro Caminos (Madrid 1969, vanos de 22 m)



<4.2.1 Características morfológicas de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

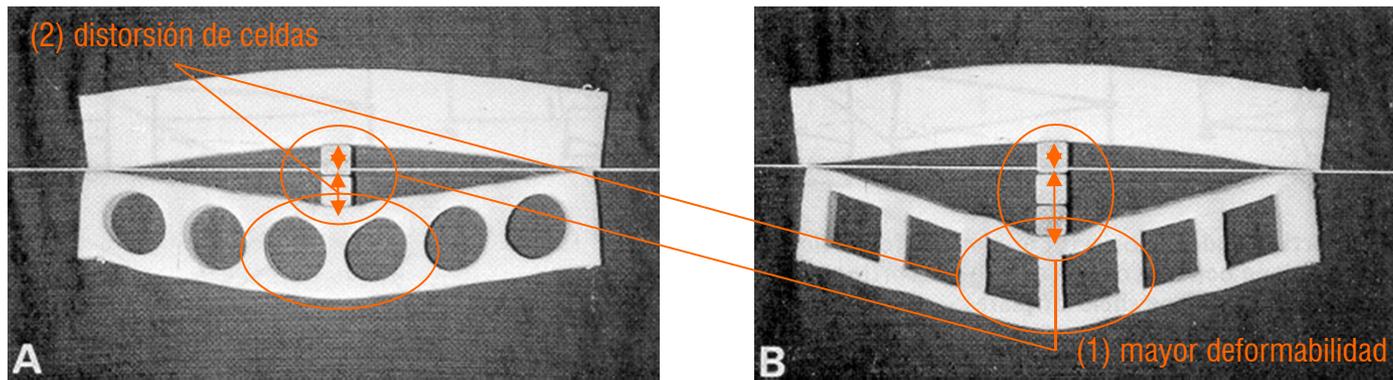


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (1) Influencia de la sección transversal sobre el comportamiento resistente del tablero

□ SECCIONES ALIGERADAS: la presencia de aligeramientos induce una **mayor deformabilidad** del sistema, lo que supone **pérdida de eficacia a cambio de ahorro en peso propio**



▪ Ensayo ilustrativo tomado de la obra de E.C. Hambly “*Bridge deck behaviour*”

□ SECCIONES DE ALAS ANCHAS: siempre que la proporción  $(L/B)_{ef}$  sea adecuada, la flexión transversal o la distorsión de los posibles aligeramientos serán **fenómenos parásitos** despreciables. En tal caso, el modelo adecuado será la **viga**

<4.2.2 Características estructurales de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

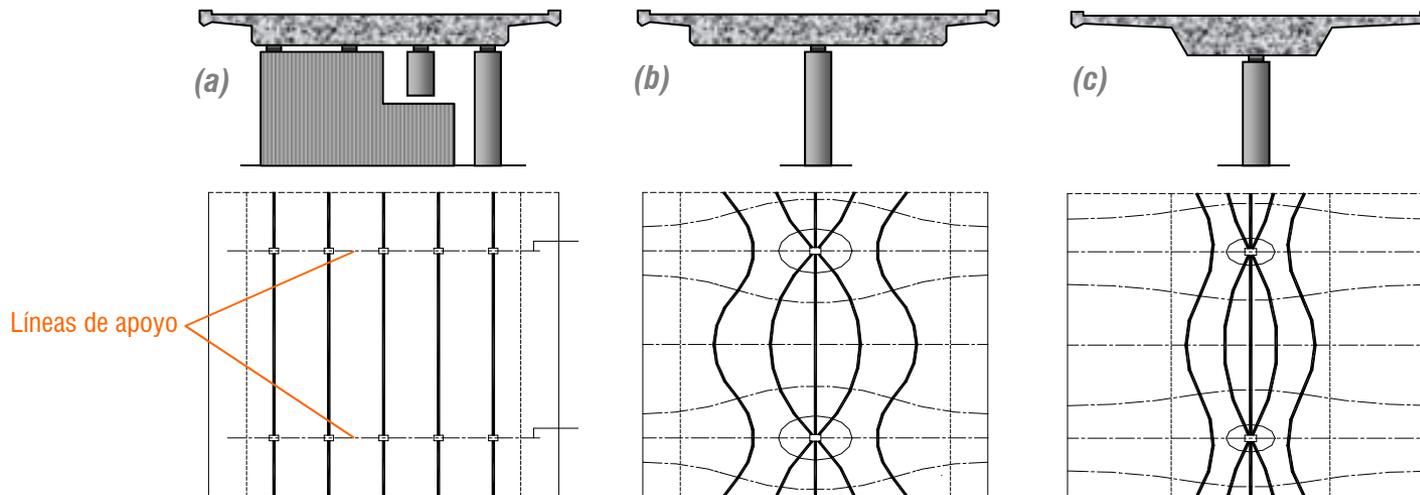


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Influencia de la disposición de apoyos

- ❑ En estribos, para proporcionar condiciones de sustentación próximas a las de *apoyo lineal ideal*, la distribución de los neoprenos debe ser regular ( $3h \leq s \leq 5h$ )
- ❑ Esta misma disposición trasladada a los apoyos intermedios exige, en *losas anchas*, pilas pantalla o bien fustes múltiples, tal y como se representa en el caso (a) de la Figura adjunta. Con ello, el peso propio puede resistirse prácticamente *sin flexión transversal*



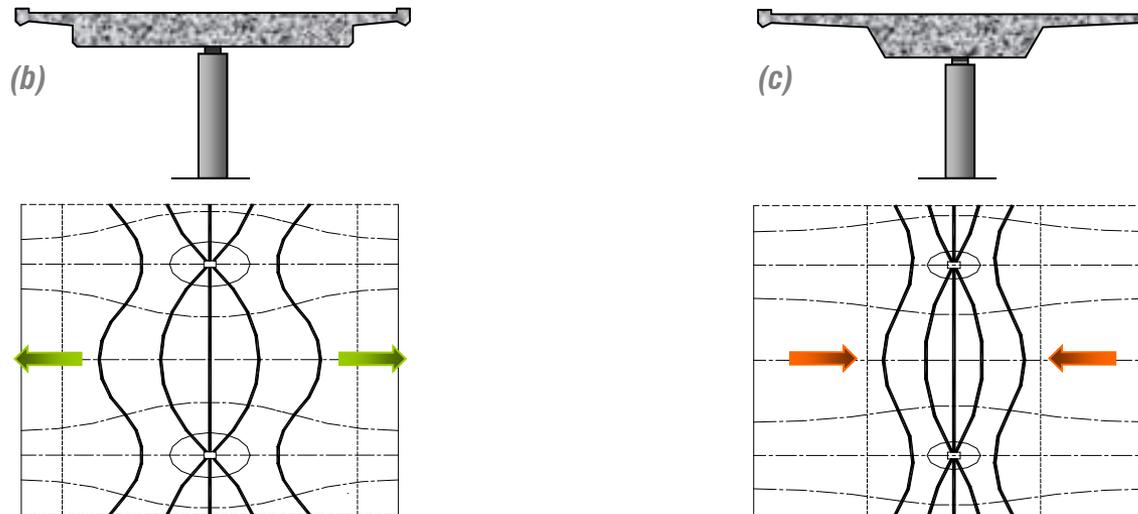
<4.2.2 Características estructurales de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Influencia de la disposición de apoyos

- ❑ Cuando el número de apoyos se reduce, la **flexión transversal** se acentúa, principalmente en torno a las pilas. Si solo se dispone un fuste, caso **(b)**, los momentos flectores adquieren una distribución cuasi-polar en estas zonas
- ❑ En cambio, una sección de idéntica anchura pero con amplios voladizos laterales proporciona **concentración de rigidez** a lo largo de la línea de apoyo. Esta propiedad produce la **elongación de las direcciones principales de flexión**, prevaleciendo de nuevo el mecanismo resistente longitudinal frente al transversal, Figura **(c)**



<4.2.2 Características estructurales de los tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ A continuación vamos a interesarnos por la características geométricas de los tableros losa en función de la *luz de vano*, para cada uno de los *tipos de sección transversal* introducidos previamente

□ COMENTARIOS VÁLIDOS EN GENERAL, PARA TODOS LOS TABLERO LOSA: las luces de vano  $l$  indicadas en las Tablas adjuntas corresponden a *losa de hormigón pretensado simplemente apoyada*. Para losas de hormigón armado, se puede tomar  $l^* = 0.6l$ . Si el tablero descansa sobre varias líneas de apoyos o bien si conforma el dintel de un pórtico, estas pueden aumentarse del 10 al 20%

### MORFOLOGÍA

### Tabla de predimensionamiento



(a) *Losas macizas*



(b) *Losas aligeradas*



(c) *Losas macizas de alas anchas*



(d) *Losas aligeradas de alas anchas*

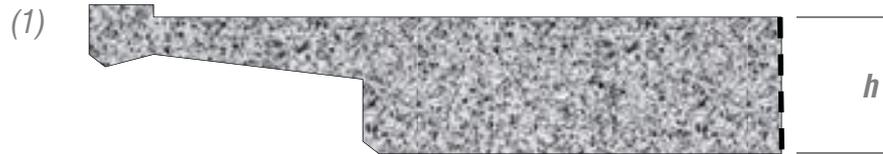
### <4.2.3 Diseño de tableros losa>

### <4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

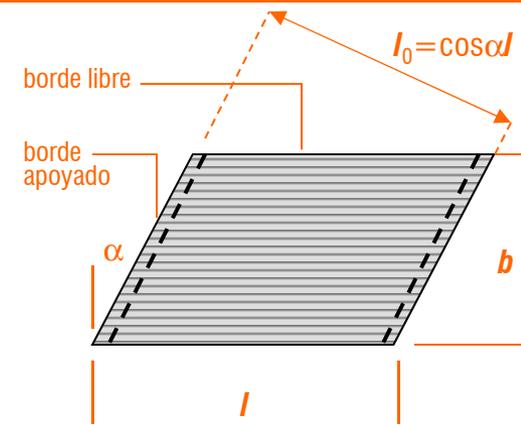
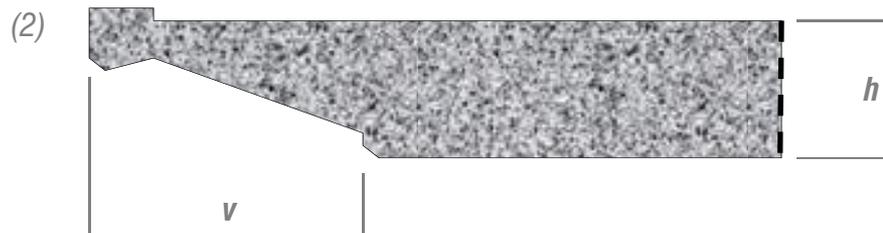


## 04 Diseño de tableros de hormigón

(a) *Losas macizas*: canto  $h \leq 0.80 \text{ m}$  ,  $l_0 \leq 20 \text{ m}$



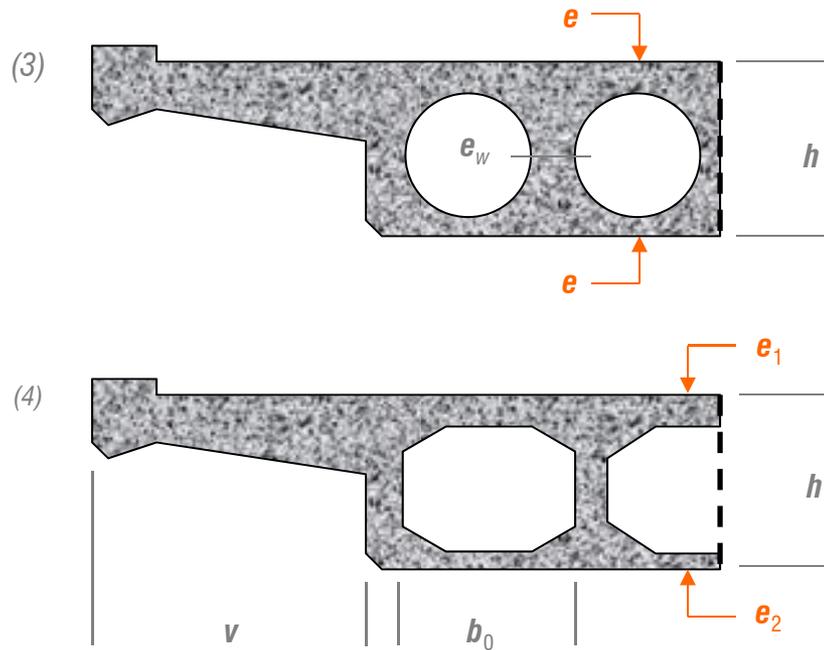
▪ Los bordes libres del tablero pueden acabarse con pequeños voladizos (1), con  $v \leq 1.00 \text{ m}$ . Sin embargo, si la losa es oblicua, la concentración de esfuerzos que se produce en estas zonas requiere un **diseño más robusto** (2)



▪ En la Figuras anteriores, el detalle de remate de las aristas es típico de las obras alemanas y suizas<sup>2,16,18</sup>, sin embargo, el uso de **impostas prefabricadas** permite simplificar el diseño de estas zonas y está más difundido en España

## 04 Diseño de tableros de hormigón

(b) Losas aligeradas: canto  $h \leq 1.20 \text{ m}$ ,  $l_0 \leq 30 \text{ m}$



ALIGERAMIENTO CIRCULAR:

$\emptyset = 0.6 \text{ a } 0.75h$

$e = 0.15 \text{ a } 0.20 \text{ m}$

$v \leq 1.00 \text{ m}$

- La separación entre aligeramientos  $\emptyset$  puede tomarse igual a  $h$ , resultando en general espesores de alma  $e_w = 0.3 \text{ a } 0.4 \text{ m}$ . Si los aligeramientos son rectangulares, conviene aumentar este espesor de tal forma que el área aligerada  $\leq 50\%$  de la superficie bruta de la sección (controla la deformación a cortante por distorsión de celdas)

ALIGERAMIENTO RECTANGULAR:

$b_0 \leq 6e_1$

$e_1 \geq 0.15 \text{ m}$

$e_2 \geq 0.12 \text{ m}$

$v \leq 1.00 \text{ m}$

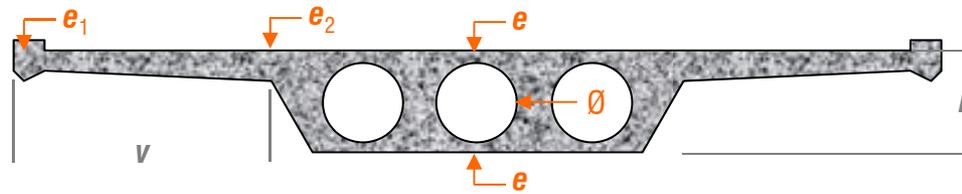
- Para adecuar el diseño al flujo de tensiones tangenciales inducidas por la torsión, los **nervios exteriores** deben ser algo **más gruesos** que los interiores

## 04 Diseño de tableros de hormigón

(c) *Losas macizas de alas anchas*: canto  $h \leq 1.00 \text{ m}$ ,  $l_0 \leq 25 \text{ m}$



(d) *Losas aligeradas de alas anchas*: canto  $h \leq 1.40 \text{ m}$ ,  $l_0 \leq 35 \text{ m}$



$e_1 = 0.15 \text{ a } 0.20 \text{ m}$ ,  $e_2 > v/7$   
valores usuales:  $e_2 = 0.35 \text{ m}$ ,  $v \leq 2.50 \text{ m}$

para  $e$ ,  $\emptyset$ ...ver (b.3)

- Si el tablero posee variación longitudinal de canto, los criterios anteriores pueden extenderse en la medida siguiente:  $0.80 \text{ m} \leq h \leq 1.80 \text{ m}$ ,  $L \leq 45 \text{ m}$ , siendo  $L$  la luz del vano mayor

<4.2.3 Diseño de tableros losa>

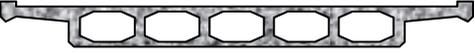
<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

(1) **Selección del modelo.** Por el contenido de las secciones anteriores, resulta evidente que la *selección del modelo* va a estar condicionada por el *tipo de sección* de la losa, según posea o no alas anchas

Sección transversal	modelado estructural	tipo de análisis
	<b>Modelo 1D:</b> tablero como emparrillado plano de barras	<b>En rigidez,</b> con un modelo completo que incluya las subestructuras
	<b>Modelo 2D:</b> tablero como placa única, incorporando la deformación por cortante en tableros celulares	<b>Exacto:</b> solución fuerte, las coacciones en flexibilidad
	<b>Modelo 2D:</b> tablero como placa única, incorporando la deformación por cortante en tableros celulares	<b>Aproximado:</b> solución débil (MEF o MBF según planta)
	<b>Modelo 1D:</b> tablero como viga, siempre que $(L/B)_{ef} \geq 5$	<b>En rigidez,</b> con un modelo completo que incluya las subestructuras, los aparatos de apoyo, nudos de dimensión finita si se disponen elementos transversales para los voladizos y diafragmas de apoyo...
	<b>Modelo 1D:</b> tablero como viga, siempre que $(L/B)_{ef} \geq 5$	<b>Nota:</b> la fisuración y el canto variable requieren <i>discretizar la directriz</i> (MEF)
	<b>Modelo 1D:</b> tablero como viga, siempre que $(L/B)_{ef} \geq 5$	<b>Nota:</b> la fisuración y el canto variable requieren <i>discretizar la directriz</i> (MEF)

<4.2.4 Elementos para el análisis de tableros losa>

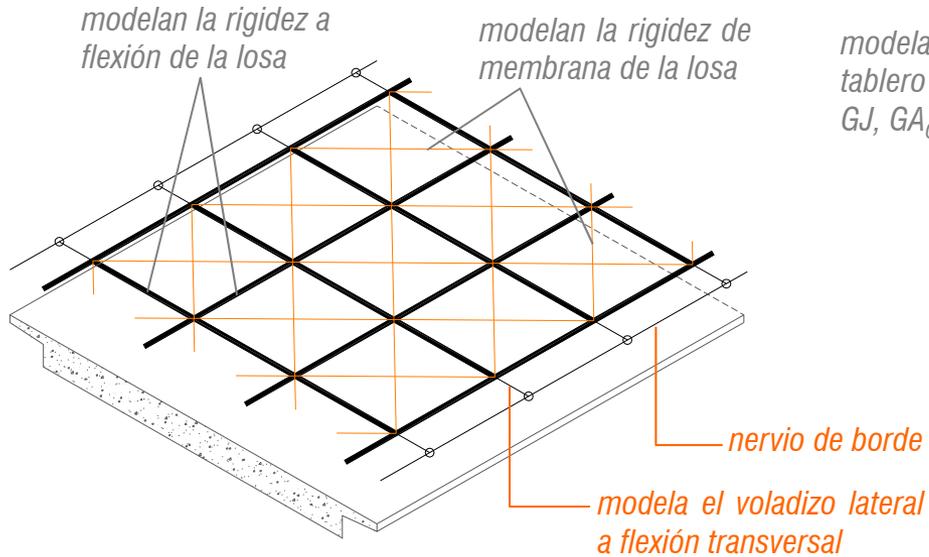
<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



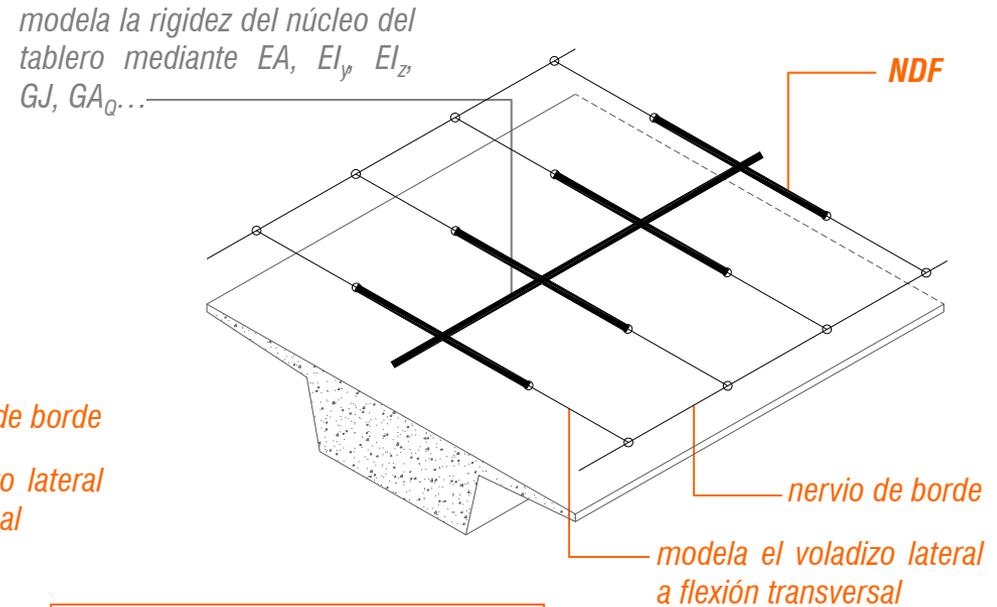
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (1) Selección del modelo. Modelos de barras para los dos tipos de sección de los tableros losa



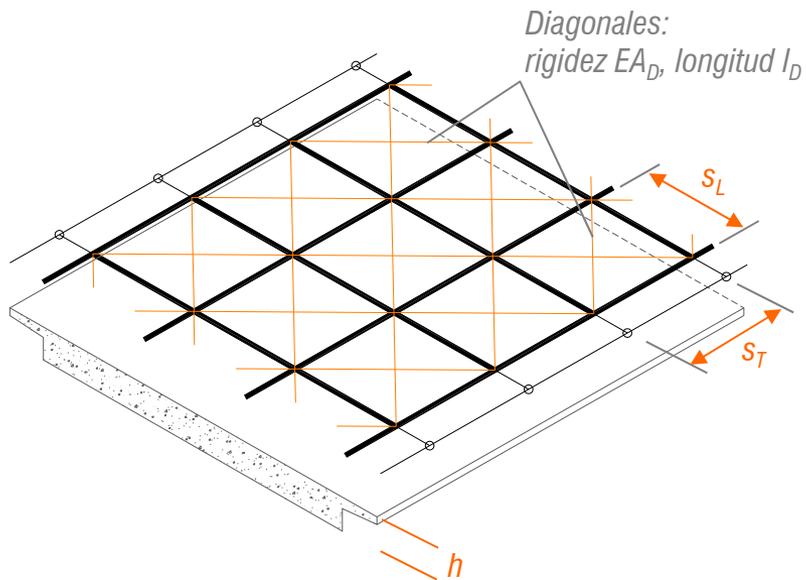
**Modelo 1D:** tablero como emparrillado plano de barras



**Modelo 1D:** tablero como viga única

## 04 Diseño de tableros de hormigón

(1) Selección del modelo. Modelo de barras para captar la rigidez de membrana de la losa, de espesor  $h$



$$EA_D = \frac{1}{2} \left( \lambda + \frac{1}{\lambda} \right) Gh l_D$$

$$\lambda = \frac{s_T}{s_L}, \quad l_D = \sqrt{s_T^2 + s_L^2}$$

**Modelo 1D:** simulación de la rigidez de membrana de la losa

<4.2.4 Elementos para el análisis de tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

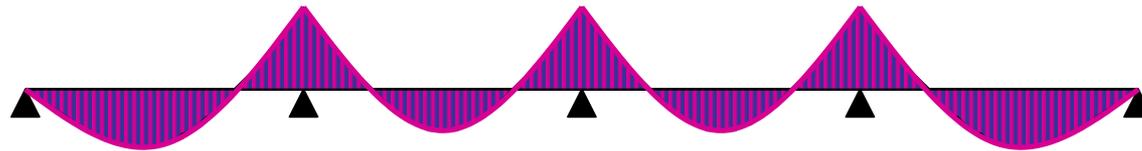


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

(2) **Influencia del proceso constructivo.** En puentes losa continuos, el análisis de la respuesta de la estructura frente a *acciones variables* ( $Q$ ) es bastante directo, pero **no** sucede lo mismo para las *acciones permanentes* ( $G, G^*$ )

□ Si el hormigonado es en **una sola fase** (construcción totalmente apeada), los esfuerzos debidos a ( $G, G^*$ ) se determinan sobre la estructura completa



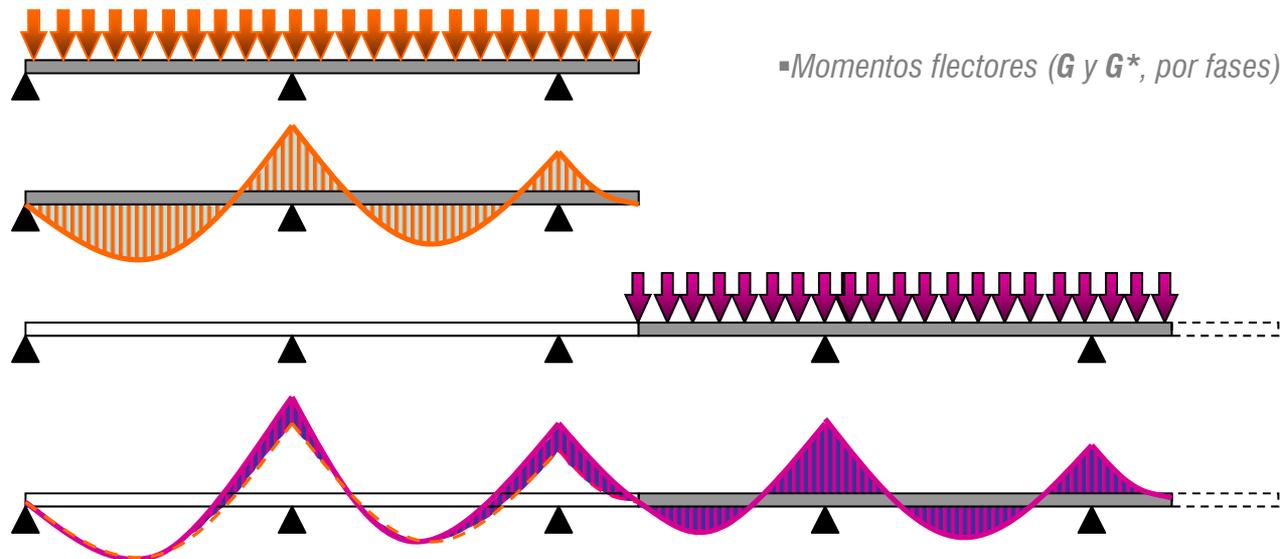
▪ Momentos flectores ( $G$  y  $G^*$ , construcción totalmente apeada)

□ Si cada vano se ejecuta de forma independiente, un levantamiento de apoyos restituirá las condiciones anteriores para ( $G$ ), aunque esta práctica **no** se adapta bien al HP



## 04 Diseño de tableros de hormigón

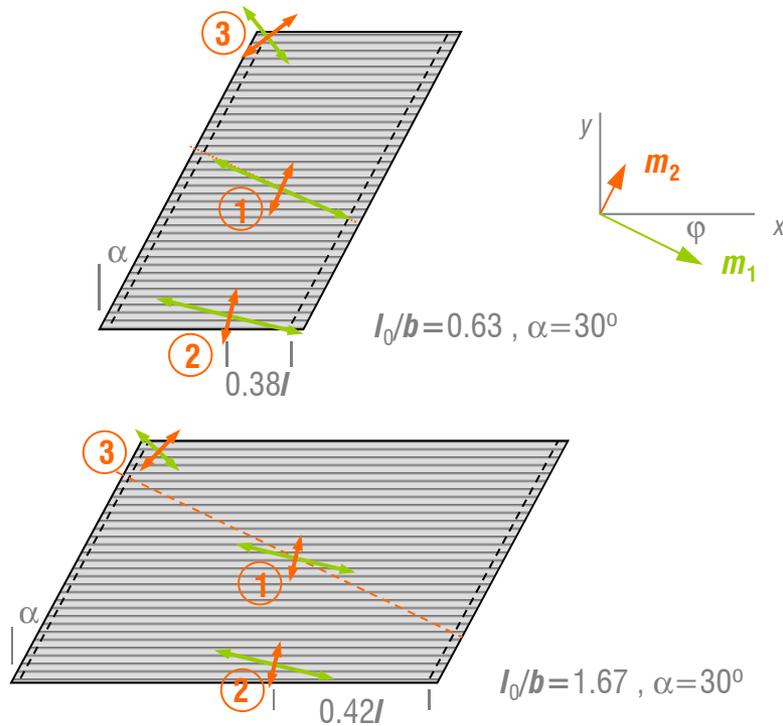
(2) **Influencia del proceso constructivo.** En la práctica, los tableros continuos de HP de cierta longitud suelen **hormigonarse por fases**, tal y como se representa a continuación. Cada fase se establece para longitudes de tablero comprendidas entre secciones de momento nulo para ( $G, G^*$ )



□ Si además se **pretensa por fases**, un adecuado trazado de cables permite crear momentos hiperestáticos de pretensado sobre apoyos, que compensan las variaciones inducidas sobre la fase ( $N-1$ ) al descimbrar la fase ( $N$ )

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (1) Momentos flectores principales debidos al peso propio en una losa oblicua



Punto	$m_1$	$m_2$	$\phi$
1	1.000	0.164	29.00
2	1.048	-0.104	18.30
3	0.448	-0.480	51.00
	$\times ql_0^2/8$	$\times ql_0^2/8$	

Punto	$m_1$	$m_2$	$\phi$
1	1.060	0.164	22.00
2	1.088	-0.096	16.80
3	0.272	-0.304	47.50
	$\times ql_0^2/8$	$\times ql_0^2/8$	

▪ Los bordes apoyados se indican mediante trazo discontinuo

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

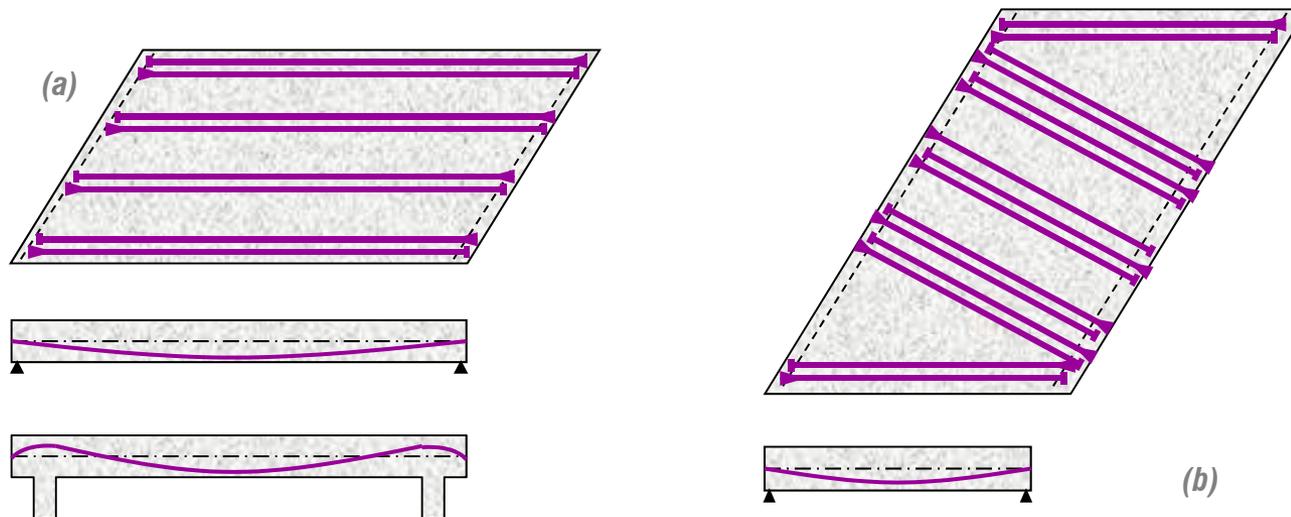


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) Disposición de armaduras activas

- ❑ En una losa oblicua simplemente apoyada, las direcciones principales de flexión en la zona central **1** se alinean prácticamente con la dirección **perpendicular a los bordes apoyados**
- ❑ En losas de **gran anchura** su respuesta en esta misma zona no difiere prácticamente del caso límite en que  $b \rightarrow \infty$  y tan solo resulta necesario analizar con mayor atención la situación a lo largo de los bordes libres



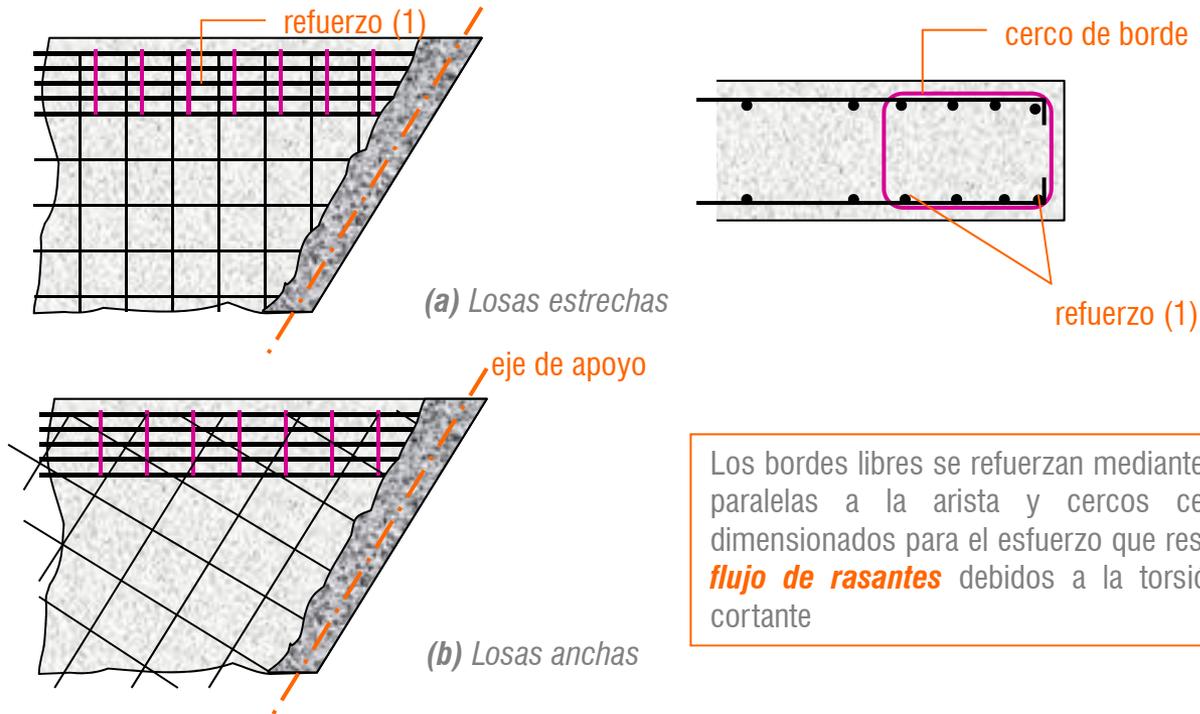
- Trazado de tendones de pretensado en tableros de un solo vano **(a)** para losas estrechas y **(b)** en losas de gran anchura (se recomienda trazados sencillos antes que una disposición óptima de tendones, siempre más compleja de determinar y montar)

### <4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

### <4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>

## 04 Diseño de tableros de hormigón

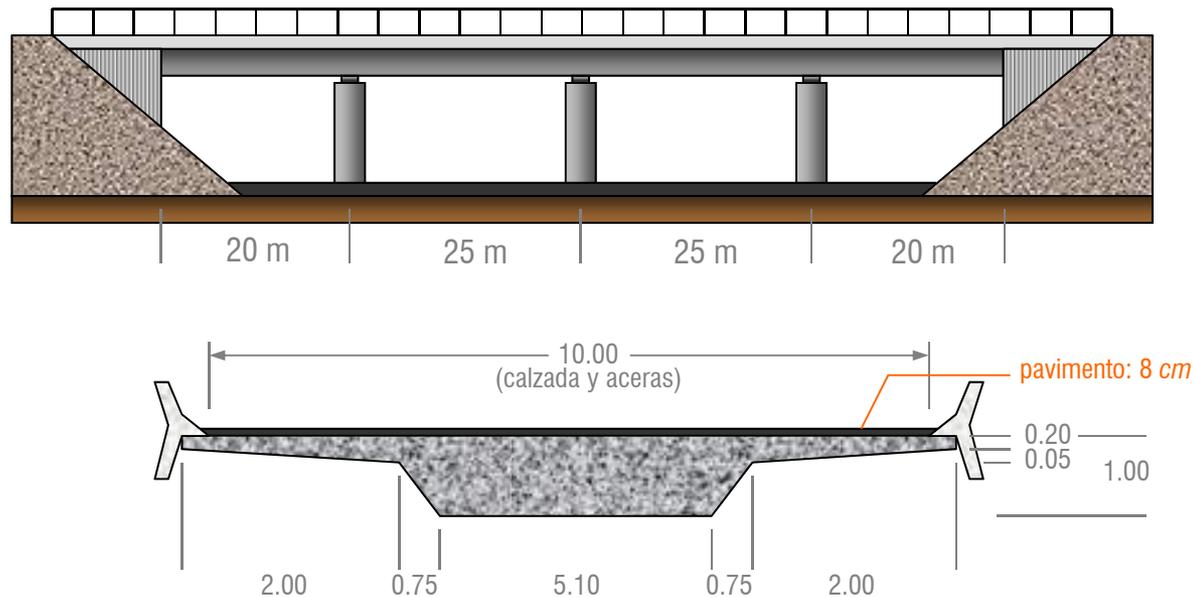
(3) **Disposición de armaduras pasivas:** estas son necesarias para controlar la fisuración y deben incluirse en la comprobación del ELU de rotura por flexión. En losas oblicuas, su **orientación** depende del ratio  $B/L$



Los bordes libres se refuerzan mediante barras paralelas a la arista y cercos cerrados, dimensionados para el esfuerzo que resulta del **flujo de rasantes** debidos a la torsión y al cortante

## 04 Diseño de tableros de hormigón

(4) Esquemas generales de armado propuestos en la publicación del CEDEX “Proyecto de puentes de hormigón: Normativa Española y Eurocódigo 2” para una losa pretensada continua, con sección maciza y alas anchas



### GEOMETRÍA GLOBAL de la losa pretensada

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

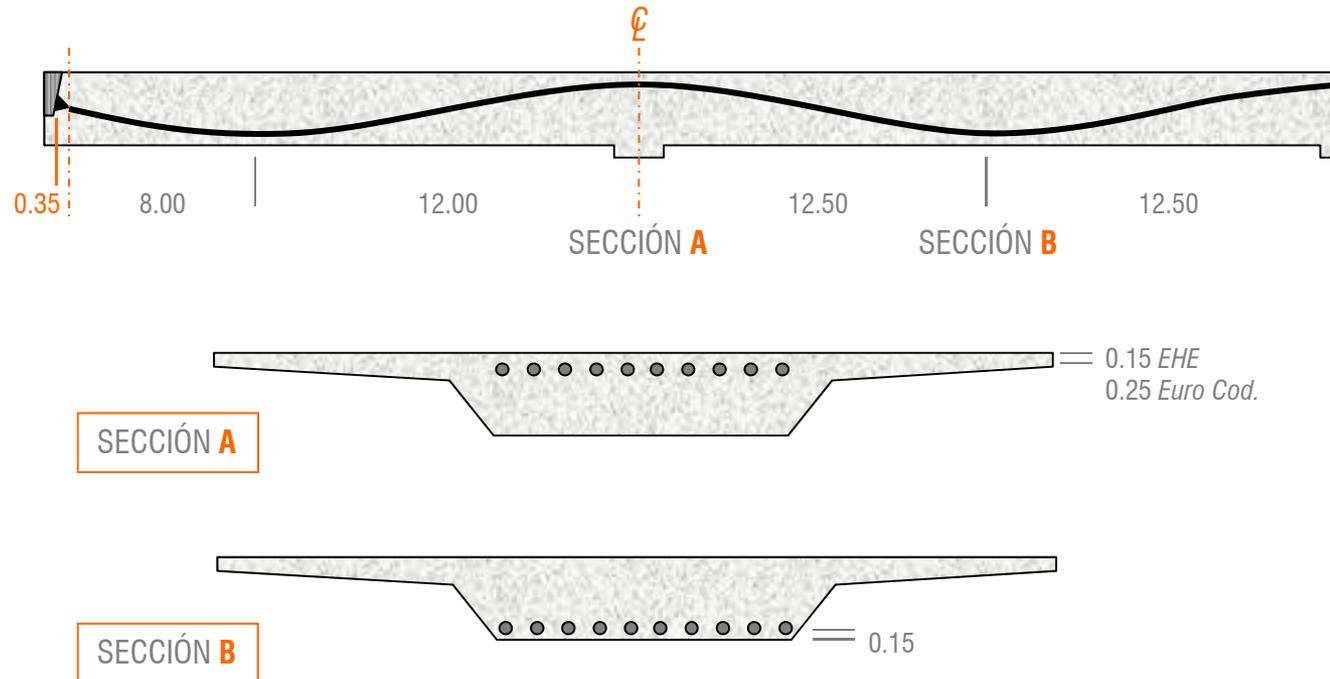
<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (4) Esquemas generales de armado



- ARMADURAS ACTIVAS, trazado longitudinal y distribución transversal

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

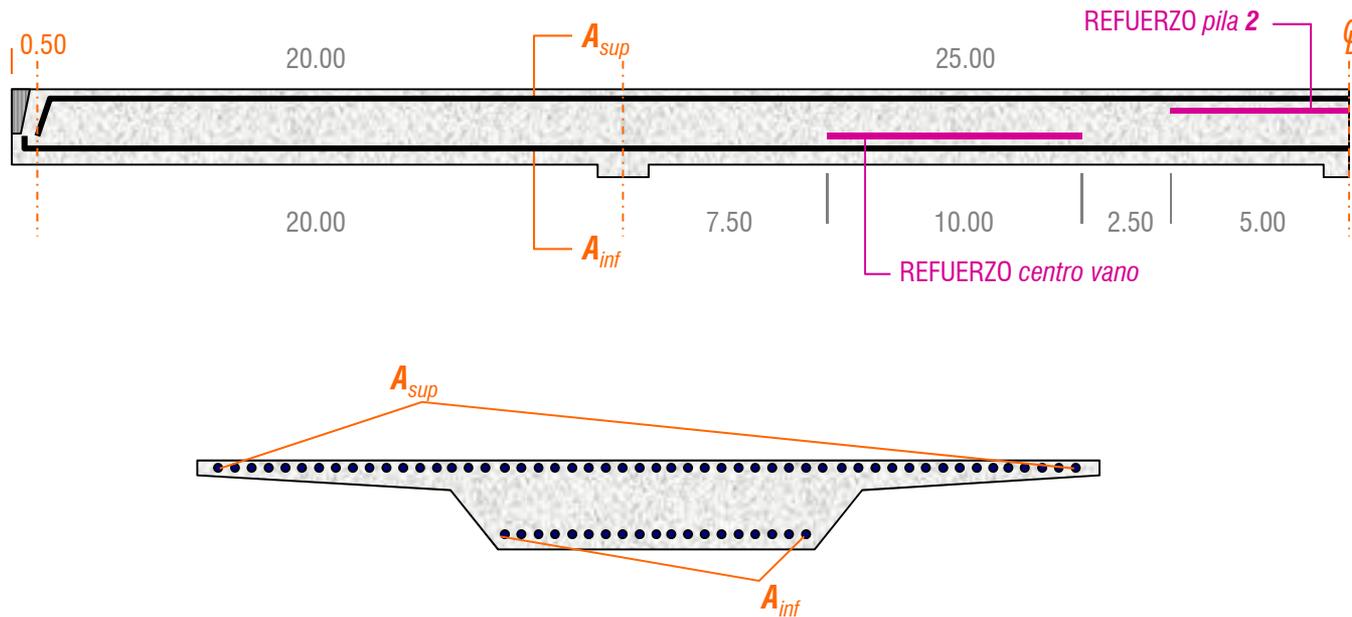
<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (4) Esquemas generales de armado



- ARMADURAS PASIVAS: esquema de la armadura longitudinal de flexión

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

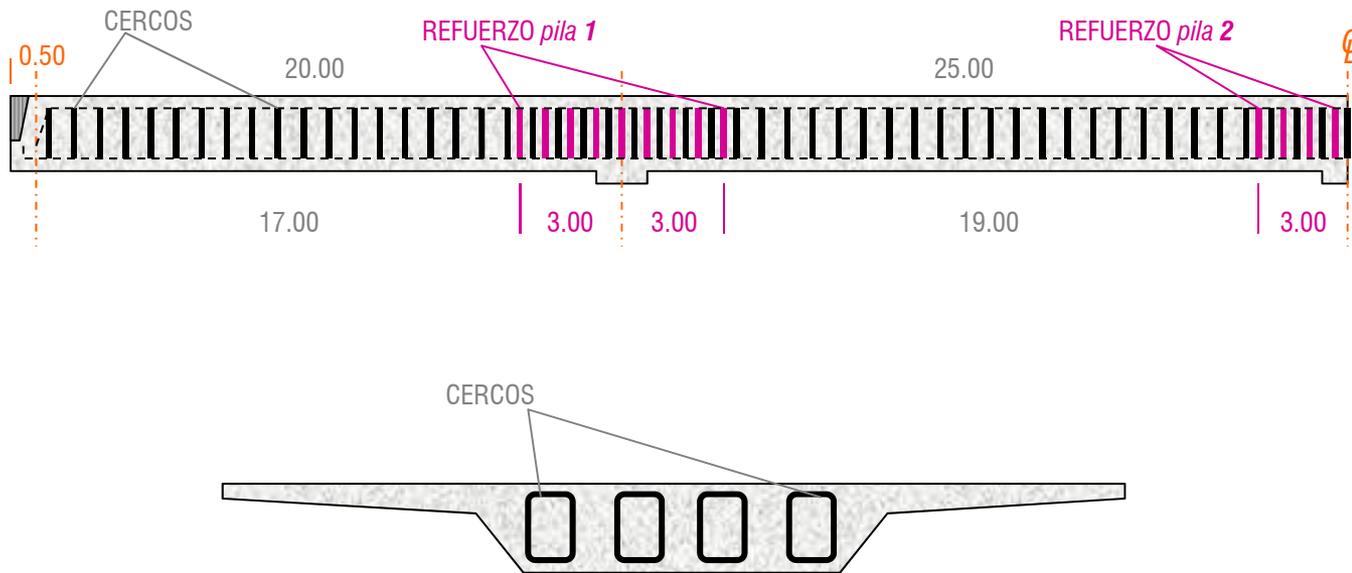
<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (4) Esquemas generales de armado



- ARMADURAS PASIVAS: esquema de la armadura transversal de cortante

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

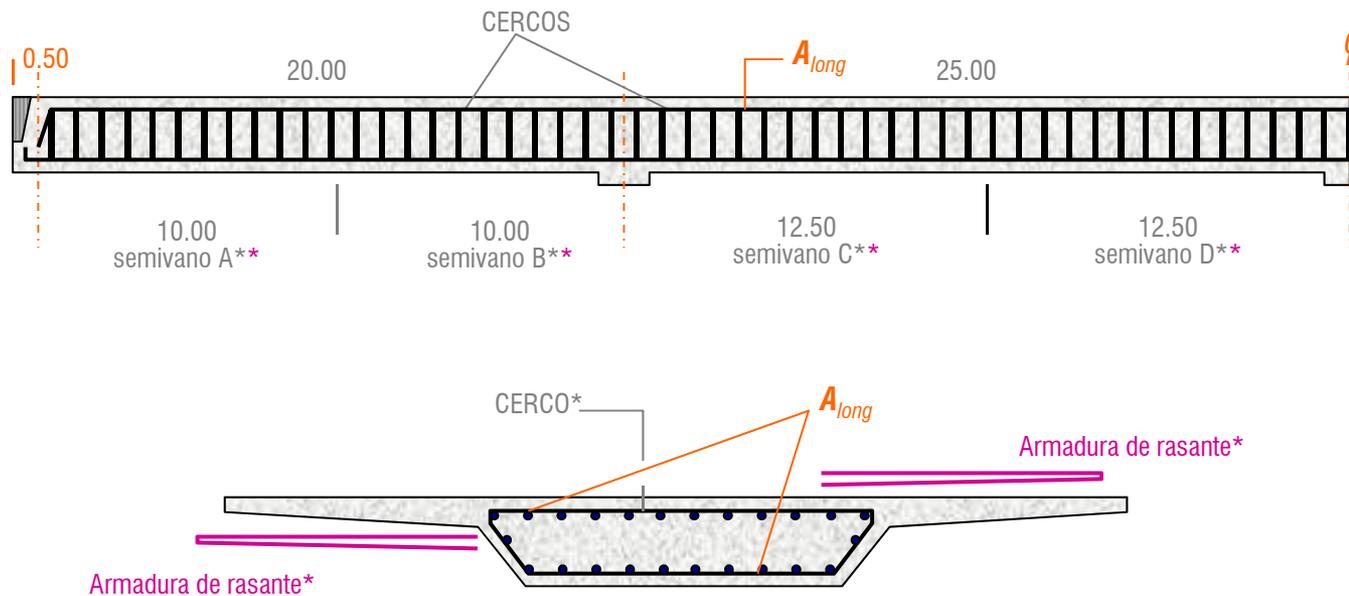
<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (4) Esquemas generales de armado



- ARMADURAS PASIVAS: esquema de las armaduras de torsión y de rasante en la conexión losa-voladizos

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪Ejemplo de cimbra para puente losa con sistema PERI MULTIPROP

▪Encofrado MULTIFLEX a base de vigas GT-24 y detalle de voladizo lateral

<4.2.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros losa>

<4.2 CONCEPCIÓN DE TABLEROS LOSA>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Los objetivos del tema **concepción de tableros en cajón** son nuevamente:

1. *Clasificar estas construcciones desde un punto de vista morfológico y analizar sus características estructurales*
2. *Aportar criterios adecuados para su dimensionamiento*
3. *Describir los modelos estructurales más aptos para reproducir correctamente su comportamiento resistente*

□ Estos puntos se complementan con algunos comentarios relativos a la trascendencia del **proceso constructivo** sobre la **metodología de análisis**, con el obligado repaso a los procedimientos de construcción y los problemas específicos de diseño que estos pueden tener (diafragmas, juntas de dilatación, disposiciones relativas a las armaduras...)

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ La geometría del tablero (planta, alzado y sección) determina:

- sus **características funcionales**
- su **aspecto**
- su **comportamiento resistente** (en servicio)
- algunas **condiciones constructivas**, asociadas a la complejidad de formas

□ Comenzaremos por analizar las posibilidades que ofrece la **construcción de pared delgada** en relación con la función básica del tablero, que consiste en proporcionar el ancho suficiente para el servicio requerido. Por ello, presentaremos las distintas opciones de **evolución de la sección transversal** cuando crece el ancho **B** de la superestructura, puesto que este suele ser un dato de proyecto

□ Ello no significa que los restantes parámetros que conforman la sección transversal carezcan de importancia:

- El canto **h**, junto con el espesor de las losas superior e inferior, **e<sub>f1</sub>** y **e<sub>f2</sub>** respectivamente, proporcionarán la capacidad de **resistencia a flexión** de la estructura
- El espesor **e<sub>w</sub>** y separación **b<sub>f</sub>** de las almas condicionarán la **resistencia a cortante y torsión** y la sensibilidad a la distorsión y al arrastre de cortante
- La inclinación de las almas **1/n** aportará nuevas posibilidades estéticas

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### A. DISEÑO EN SECCIÓN TRANSVERSAL

□ Las *flexiones transversales* cobran importancia en la losa superior, que recibe directamente las cargas de tráfico. Estas pueden acotarse convenientemente si la separación entre almas se mantiene dentro del intervalo

[5.0 , 8.0 m]

en tableros de puente, para los cuales se suele tener  $B > 8m$ . Por lo tanto, los tableros anchos deberán conseguirse:

- *aumentando el número de almas*
- *rigidizando el cajón unicelular*
- *disponiendo varias vigas cajón yuxtapuestas*

□ La alternativa consistente en aumentar el espesor de la losa superior  $e_{ff}$  no es recomendable puesto que *penaliza en exceso el peso propio*, además de verse favorecidos tanto el arrastre de cortante como la distorsión de la sección transversal, por el implícito aumento de  $B$  (ambos fenómenos implican una pérdida de eficacia de la estructura al afectar la distribución uniforme de tensiones normales prevista por la teoría de flexión de vigas)

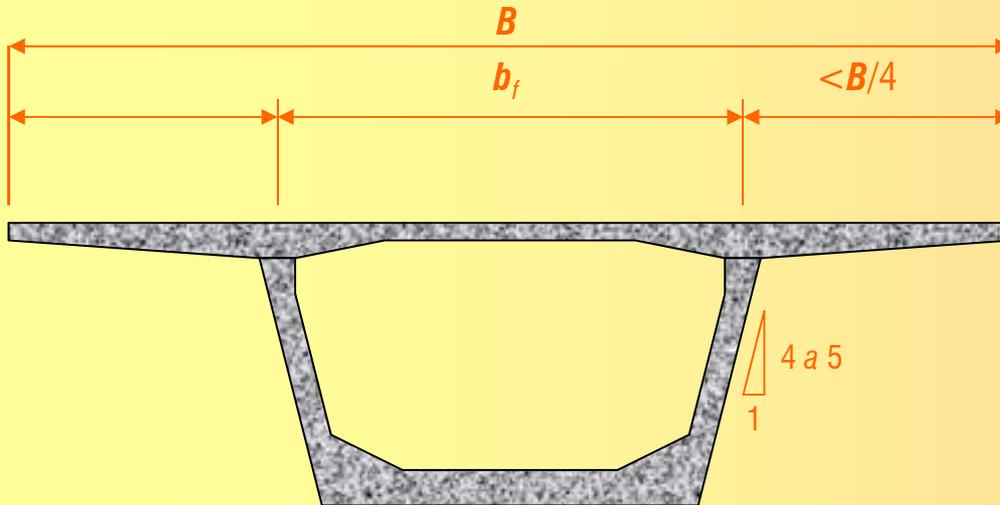
#### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

#### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (1) CAJÓN UNICELULAR



Cajón unicelular

$B$	$\leq 16 \text{ m}$
$b_f$	5.0 a 8.0 m

- Con esta tipología se puede llegar hasta 16 m de ancho sin acusar importantes pérdidas de eficacia resistente, causadas por distorsión o arrastre de cortante excesivos, o penalización del peso propio por  $e_{f1}$
- Existen algunos ejemplos singulares (puentes de Saane, Latten y Felsenau en Suiza, de Tarento en Italia) que pueden explicarse por **circunstancias especiales** que concurren en estas obras

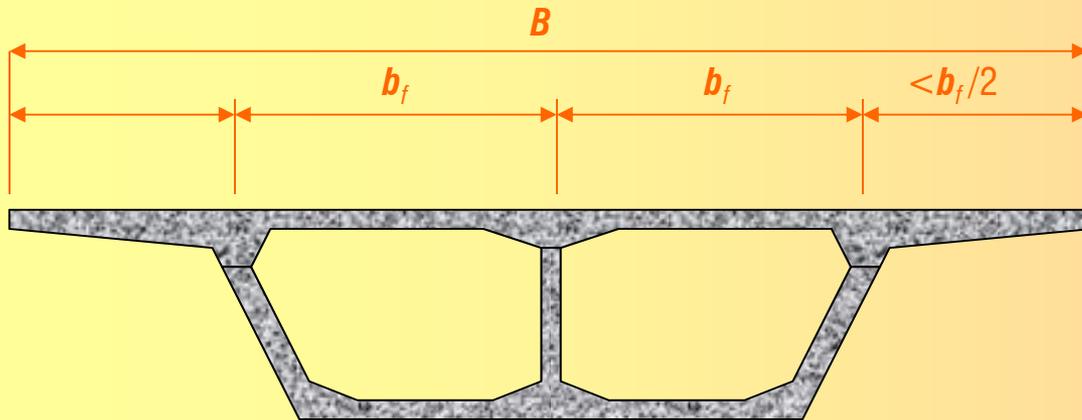
#### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

#### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (2) CAJÓN BICELULAR



Cajón bicelular

$B$	15 a 24 m
$b_f$	5.0 a 8.0 m

- Esta disposición permite **acotar la flexión local de la losa superior** manteniendo las proporciones de los voladizos propuestas en el caso anterior. Puede llegar a anchos de 24 m con dos células y prácticamente a 32 m con tres
- En su contra tiene su mayor complejidad de ejecución, que se ve agravada cuando el canto es variable. Esta circunstancia dificulta (*pero no impide*) su aplicación a grandes luces

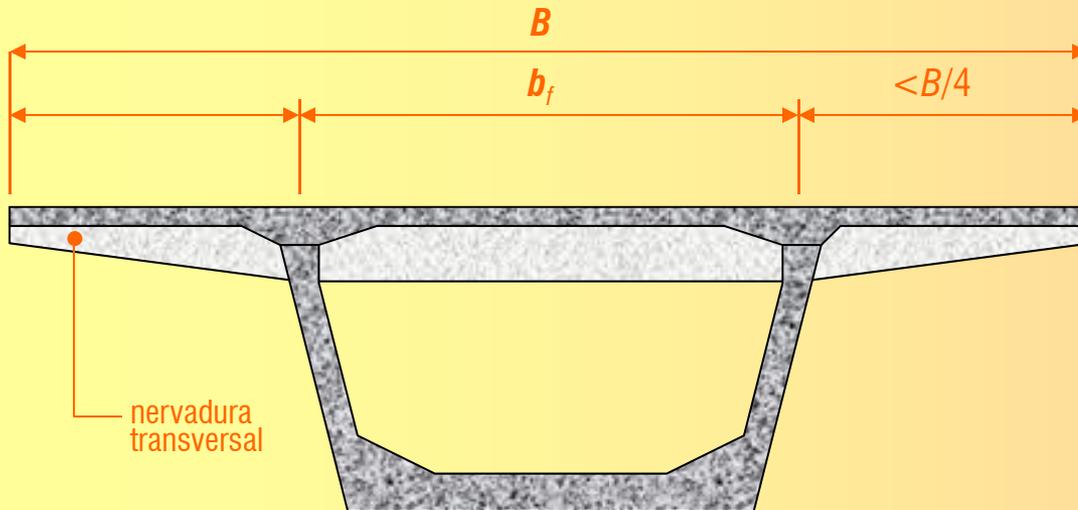
#### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

#### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (3) CAJÓN con LOSA SUPERIOR NERVADA



Losa superior nervada

$B$	15 a 25 m
$b_f$	7.5 a 12.5 m

- Esta opción se adapta mejor a la prefabricación por dovelas, con la cual resulta más sencillo abordar formas complejas, y no interfiere con una posible variación de canto
- Permite mantener espesores moderados en la losa al invertir en ella la dirección de flexión principal (que ahora será función de la separación entre nervios  $\approx$  longitud de dovela  $< b_f$ ) y acota la distorsión

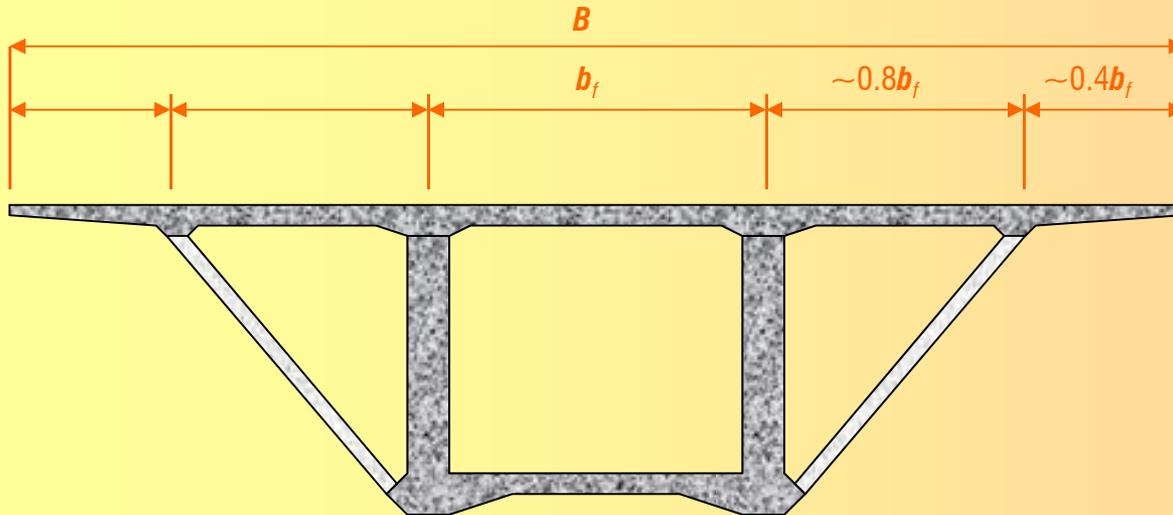
#### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

#### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

### (4) CAJÓN con VOLADIZOS APUNTALADOS



Voladizos apuntalados

$B$	18 a 32 m
$b_f$	5.5 a 9.5 m

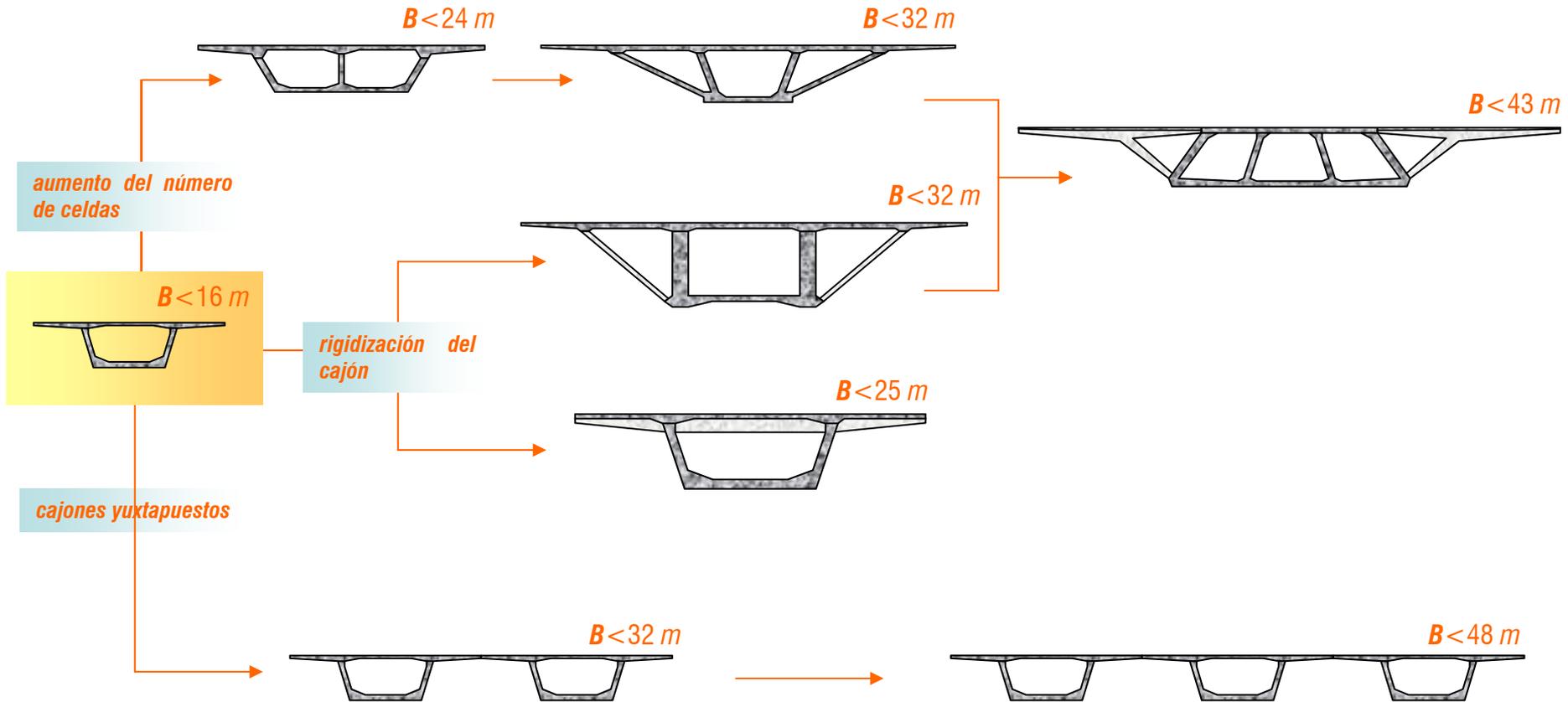
- Por las proporciones asignadas al cajón, la distorsión y el arrastre de cortante, ya pueden cobrar cierta importancia. De ahí que se asignen espesores de pared algo mayores que los usuales y/o dispongan diafragmas intermedios.
- Los voladizos se ejecutan en una segunda fase, pudiendo incluso prefabricarse junto con los puntales. Esta disposición se **conjuga mal con la variación de canto**

#### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

#### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

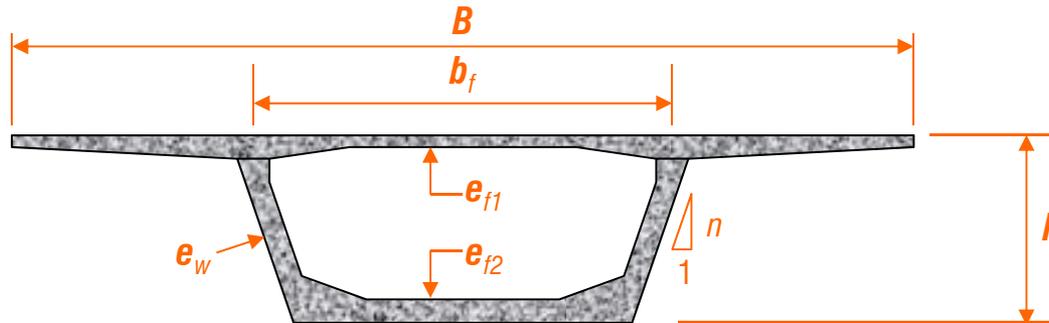


<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



**Puentes en cajón unicelular**  
(\* ) dovelas prefabricadas

Puente	$L$	$h$	$B$	$b_f$	$(n)$	$e_{f1}$	$e_{f2}$	$e_w$
Hartel* (Holanda)	114	1.5 a 5.2	8.0	4.4	$\infty$	0.24	0.26/0.85	0.35
Savines (Francia)	77	1.15 a 4.15	9.2	5.0	$\infty$	0.22	0.18/0.4	0.4
Tagliamento (Italia)	160	2.5 a 7.0	9.6	5.0	$\infty$	0.25	0.25/1.0	0.35
Koror (EEUU)	241	3.7 a 14.0	9.6	7.32	$\infty$	0.28/0.42	0.18/1.17	0.36
Lacroix Falgarde (Francia)	60	1.35 a 3.2	10.0	5.0	$\infty$	0.22	0.12/0.3	0.25
Tricastin (Francia)	142.5	2.5 a 7.5	10.0	5.2	$\infty$	0.22	0.25/0.8	0.45
Morlaix (Francia)	82	1.8 a 5.2	10.0	5.2	$\infty$	0.22	0.18/0.4	0.36

## &lt;4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón&gt;

## &lt;4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN&gt;



## 04 Diseño de tableros de hormigón

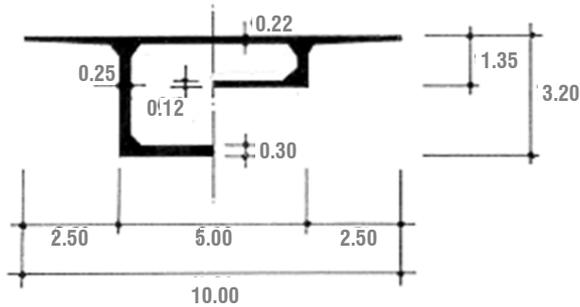
Puente	$L$	$h$	$B$	$b_f$	$(n)$	$e_{f1}$	$e_{f2}$	$e_w$
Ottmarsheim* (Francia)	172	3.0 a 9.0	10.0	6.03	$\infty$	0.22	0.24/0.72	0.45
Oleron* (Francia)	79	2.5 a 4.5	10.6	5.5	$\infty$	0.20	0.18/0.4	0.3
Seudre* (Francia)	79.25	2.5 a 4.5	10.9	5.68	$\infty$	0.22	0.18/0.4	0.3
Bear River* (Canadá)	80.8	3.6	12.0	6.1	10	0.25	0.2/0.6	0.4
Long Key* (EEUU)	36	2.0	12.0	7.0	1.8	0.20	0.18	0.25
Kishwaukee River* (EEUU)	76.2	3.5	12.5	8.0	3.6	0.22	0.2/0.44	0.35
Pine Valley Creek (EEUU)	137	5.8	12.8	7.0	4	0.25	0.25/1.98	0.4
Vail Pass* (EEUU)	60	2.4	12.8	7.13	4	0.22	0.22/0.5	0.35
Overstreet* (EEUU)	88.4	2.1 a 4.2	13.0	7.8	2.5	0.22	0.2/0.36	0.37
Gorzexio (Italia)	144	3.5 a 9.0	13.05	7.0	$\infty$	0.28	0.2/0.55	0.4
Bendorf (Alemania)	208	4.4 a 10.45	13.2	7.2	$\infty$	0.28/0.42	0.15/2.4	0.37
Azufre (España)	130	2.5 a 6.25	13.7	7.0	$\infty$	0.28	0.2/0.95	0.5
Siegtal (Alemania)	105	5.8	14.5	7.0	$\infty$	0.25	0.15/0.99	0.4/1.0

### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



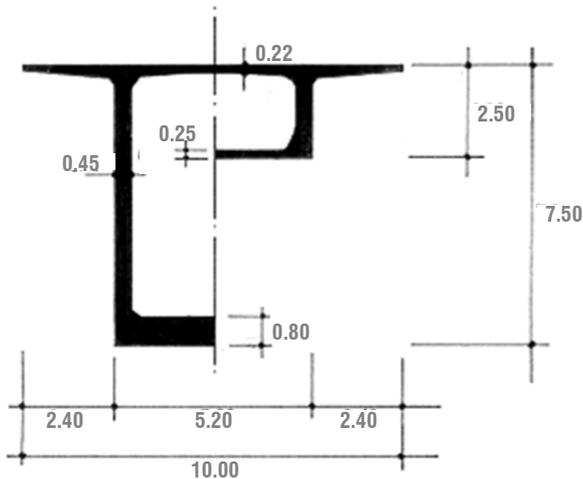
## 04 Diseño de tableros de hormigón



(a) *Puente de Lacroix-Falgarde*  
(Francia, 1962)

$L$  60 m

$h/L$  1/18.75 a 1/44.44



(b) *Puente de Tricastin* (Francia)

$L$  142.5 m

$h/L$  1/19 a 1/57

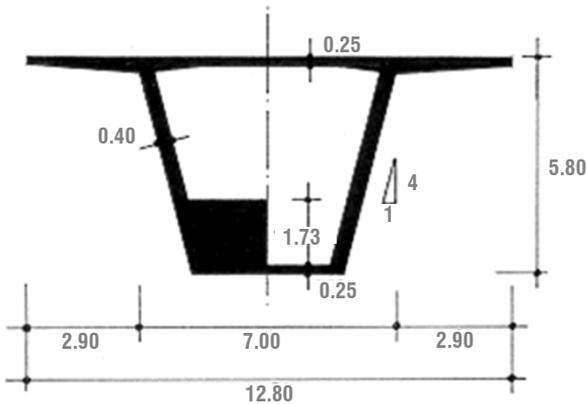
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



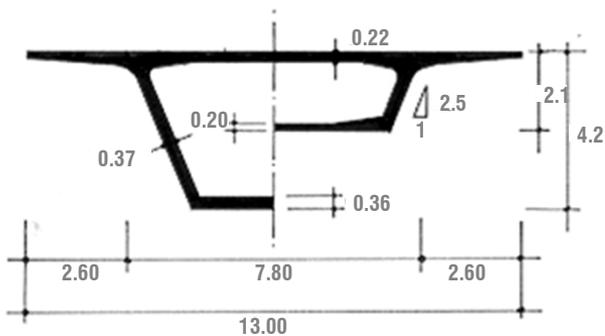
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



(c) *Puente de Pine Valley Creek*  
(EEUU, 1974)

$L$  137 m  
 $h/L$  1/23.62



(d) *Puente de Overstreet\**  
(EEUU)

$L$  88.4 m  
 $h/L$  1/21 a 1/42

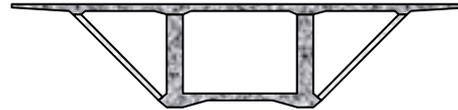
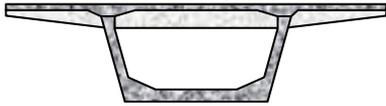
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



**Puentes en cajón unicelular de gran anchura**  
(\* dovelas prefabricadas)

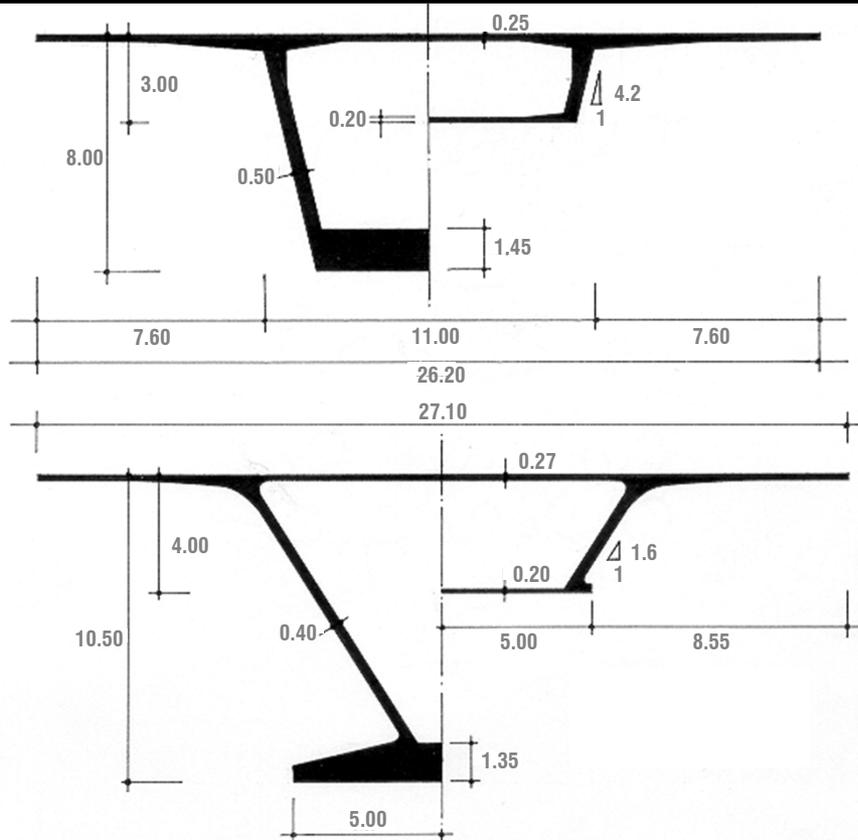
Puente	$L$	$h$	$B$	$b_f$	$(n)$	$e_{f1}$	$e_{f2}$	$e_w$
Latten (Suiza)	-	3.8	25.5	9.94	3.8	0.23	0.16/-	0.44
Saane (Suiza)	60	4.0	25.6	10.6	6.9	0.24	0.2/0.55	0.6
Felsenau (Suiza)	156	3.0 a 8.0	26.2	11.0	4.2	0.25	0.2/1.45	0.5
Tarento (Italia)	152.4	4.0 a 10.5	27.1	13.5	1.6	0.27	0.2/1.35	0.4
<b>CAJÓN con LOSA SUPERIOR NERVADA</b>								
Sallingsund* (Dinamarca)	93	2.5 a 5.5	16.1	9.1	3	0.22	0.22/0.6	0.38
St André de Cubzac* (Francia)	95.3	2.85 a 5.5	16.6	9.7	3	0.2	0.18/0.6	0.45
Zilwaukee* (EEUU)	119	2.4 a 6.0	22.4	11.0	$\infty$	0.15	0.2/0.91	0.61
La Gruyère (Suiza)	60.5	4.0	23.7	6.0	$\infty$	0.24	0.18/0.3	0.36
Velje Fjord (Dinamarca)	110	3.5 a 6.0	27.6	13.57	$\infty$	0.22	0.22/0.85	0.5
<b>CAJÓN con VOLADIZOS APUNTALADOS</b>								
Kochertal (Alemania)	138	6.5	30.76	9.15	23.6	0.22	0.22/1.61	0.45/0.9
Eschachtal (Alemania)	124	6.0	31.0	9.0	$\infty$	0.28/0.6	0.18/1.3	0.45/0.6

## &lt;4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón&gt;

## &lt;4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN&gt;



## 04 Diseño de tableros de hormigón



(e) *Puente de Felsenau*  
(Suiza, 1978)

$L$  156 m  
 $h/L$  1/19.5 a 1/52

(f) *Puente de Tarento*  
(Italia, 1977)

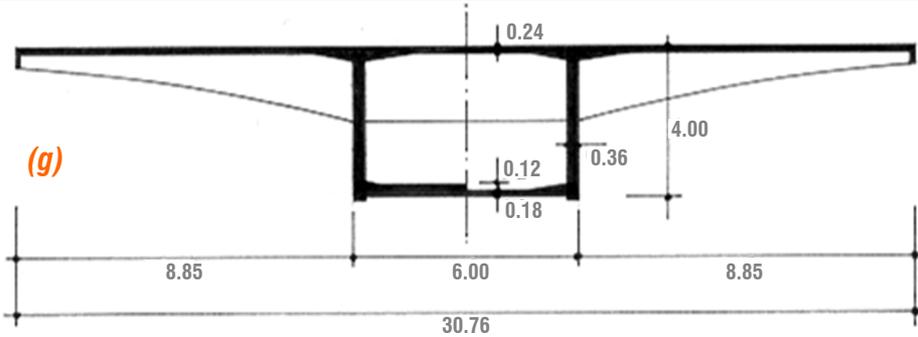
$L$  152.4 m  
 $h/L$  1/14.5 a 1/38.1

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

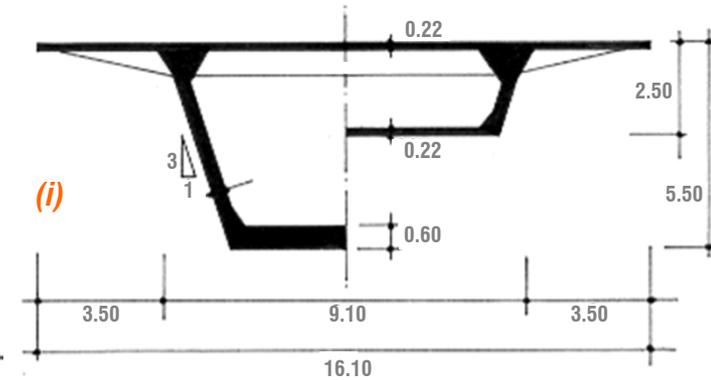
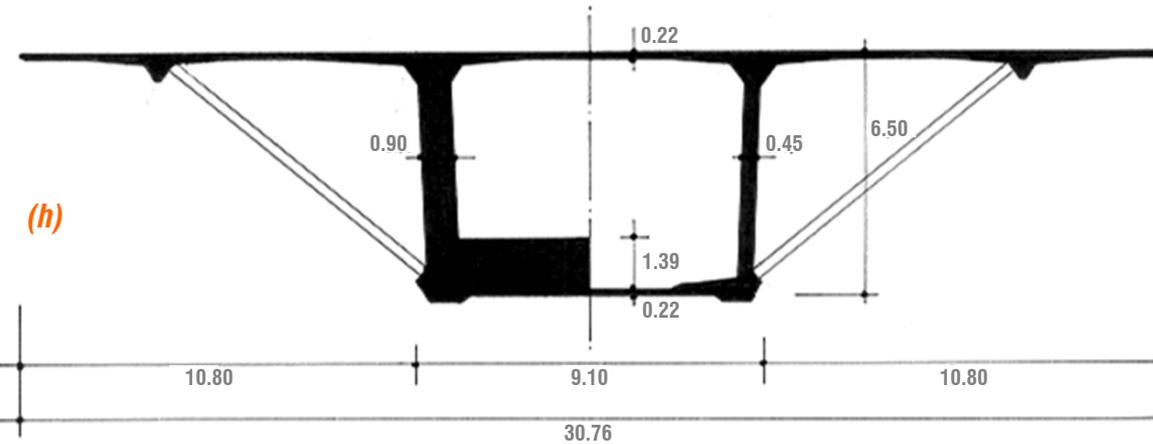
<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



	$L$	$h/L$
(g) <i>La Gruyère</i>	60.5 m	1/15
(h) <i>Kochertal</i>	138 m	1/21.2
(i) <i>Sallingsund*</i>	93 m	1/17 a 1/39.2

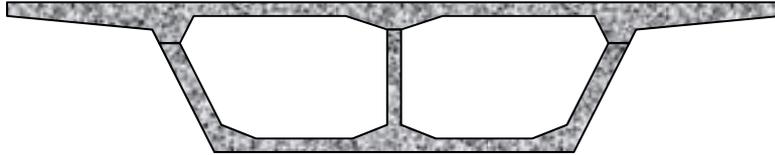


<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



**Puentes en cajón bi o tricelular ( $I$ ), ( $N$ ) número de células**  
 (\*) dovelas prefabricadas

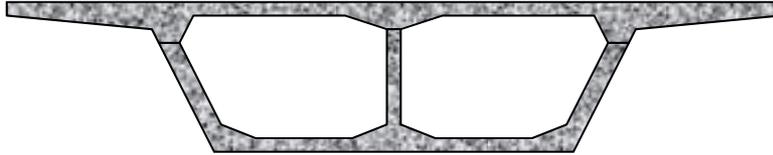
Puente	$L$	$h$	$B$	$N$	$e_{f1}$	$e_{f2}$
Río Tocantins (Brasil)	140	2.6 a 7.2	10.0	2	0.21	-
Chillon* (Suiza)	104	2.2 a 5.64	13.0	3	0.18	0.16/0.5
Captain Cook* (Australia)	183	1.8 a 9.75	13.4	2	-	-
B-3 Sud* (Francia)	48	2.0	15.25	2	-	-
Marne-la-Vallée* (Francia)	-	2.0	16.0	3	-	0.15/0.3
Oissel (Francia)	100	2.2 a 6.0	17.2	2	-	0.21/0.5
Houston Ship Channel (EEUU)	228.6	4.6 a 14.5	18.0	2	0.25	0.25/1.22
Kipapa Stream (EEUU)	76.2	-	18.0	2	0.23	-
Joinville (Francia)	107.9	2.2 a 5.2	19.0	2	-	0.18/1.1

### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



**Puentes en cajón bi o tricelular (II), (N) número de células  
(\* ) dovelas prefabricadas**

Puente	$L$	$h$	$B$	$N$	$e_{f1}$	$e_{f2}$
Gennevilliers (Francia)	172	3.5 a 9.0	19.55	2	0.2	0.2/1.2
St Cloud* (Francia)	101.8	3.6	20.4	3	0.21	0.18/0.8
Napa River (EEUU)	76.2	2.4 a 3.7	20.7	2	-	-
Arnhem (Holanda)	136.5	2.0 a 5.15	21.1	2	0.28	0.2 a 1.4
Columbia River* (EEUU)	183	3.5 a 9.75	21.7	2	-	-
Cudoz-St Léger (Suiza)	36.2	2.5	23.72	3	0.24	0.18
Viosne (Francia)	60	3.5	25.7	3	0.23	0.18/0.5
Western Avenue (UK)	62	3.12	28.65	3	-	-
Westgate** (Australia)	67	3.65	35.5	3	-	-

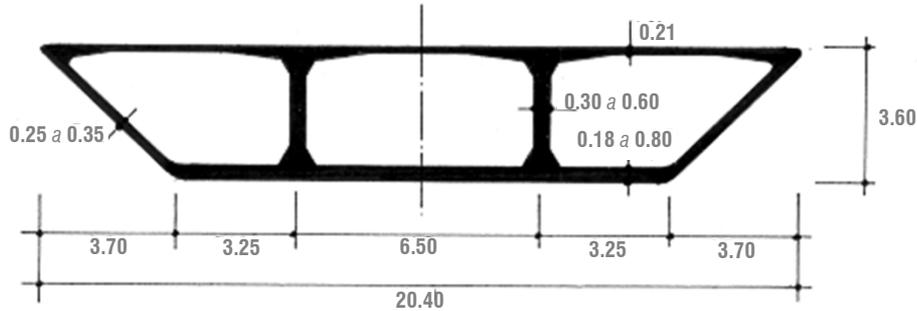
### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



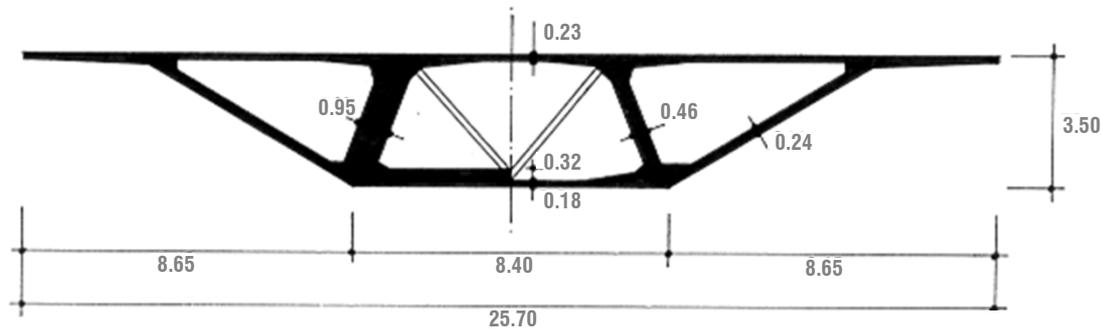


## 04 Diseño de tableros de hormigón



(k) *Puente de St Cloud\**  
(Francia, 1974)

$L$  101.75 m  
 $h/L$  1/28.3



(l) *Puente de Viosne*  
(Francia, 1972)

$L$  60 m  
 $h/L$  1/17.1

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



**Puentes formados por varios cajones solidarios,**  
 (*m*) número de vigas cajón  
 (\*) dovelas prefabricadas

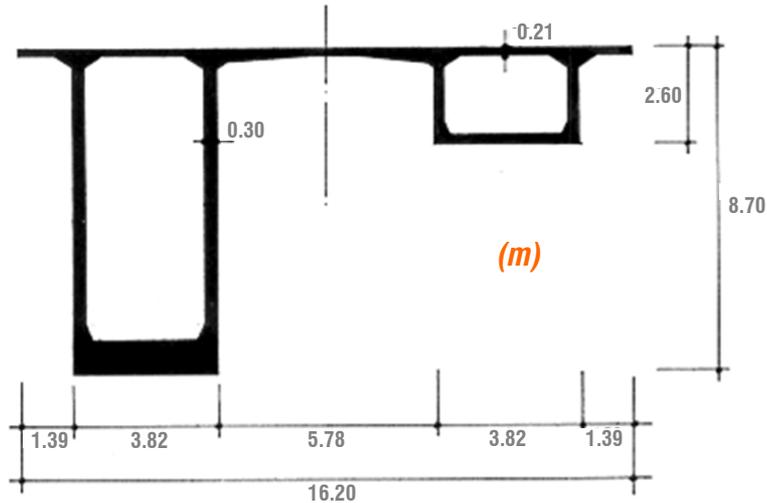
Puente	<i>L</i>	<i>h</i>	<i>B</i>	( <i>m</i> )	$e_{f1}$	$e_{f2}$	$e_w$
Pont Aval* (Francia)	92	3.4 a 5.5	15.8	2	0.2	0.18/0.6	0.32
Pierre-Bénite* (Francia)	75	3.6 a 4.3	16.3	2	0.2	0.16/0.84	0.26
Calix* (Francia)	156	2.6 a 8.7	16.5	2	0.21	-	0.3
JFK Memorial* (EEUU)	61	2.44	17.0	2	0.18	0.25/1.5	0.3
Trent* (UK)	85	2.0 a 3.0	17.4	2	0.18	0.25/0.5	0.4
Givors (Francia)	109.7	2.0 a 5.5	18.0	2	-	0.14/0.8	0.3
Blois* (Francia)	91	2.2 a 4.5	20.0	2	-	0.18/0.6	0.3
Bd Périphérique* (Francia)	90	2.8 a 4.8	20.28	2	-	0.18/0.8	0.32
Coblenza (Alemania)	114	2.5 a 7.0	20.4	2	0.3	0.12/1.2	0.35 a 0.37
Río Niteroi (Brasil)	80	4.7	26.4	2	0.22	0.14	0.36
St Jean (Francia)	77	3.4 a 4.0	26.8	3	0.2	0.16/0.76	0.25
Choisy-le Roi* (Francia)	55	2.5	28.4	4	0.18	0.15/0.4	0.26
Courbevoie* (Francia)	60	2.28	35	4	0.2	0.16 <i>min.</i>	0.3

### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



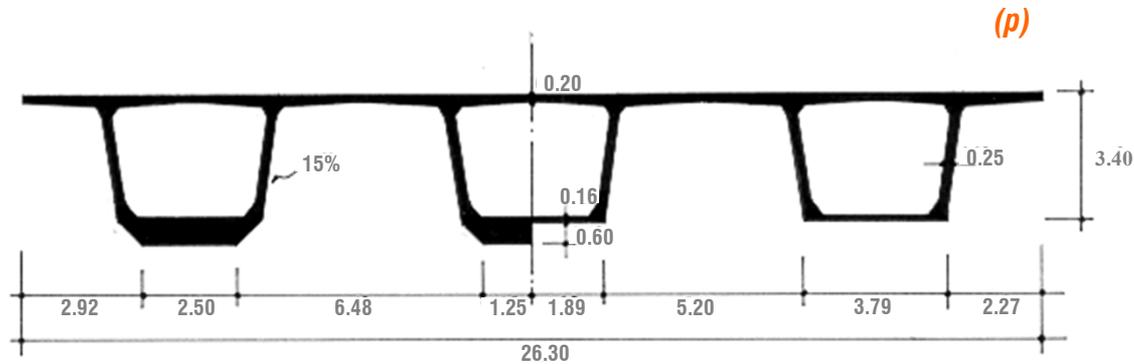
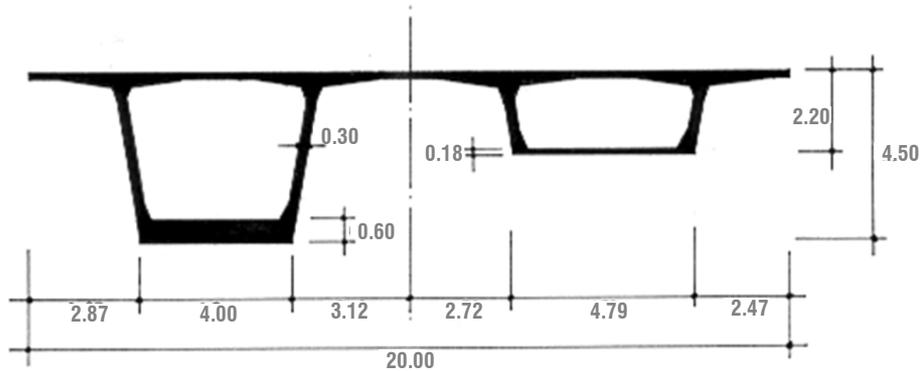
	<i>L</i>	<i>h/L</i>
<i>(m) Calix*</i>	156 m	1/18 a 1/60

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



	<i>L</i>	<i>h/L</i>
(n) Blois*	91 m	1/20 a 1/41.3
(p) St Jean	77 m	1/22.6

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

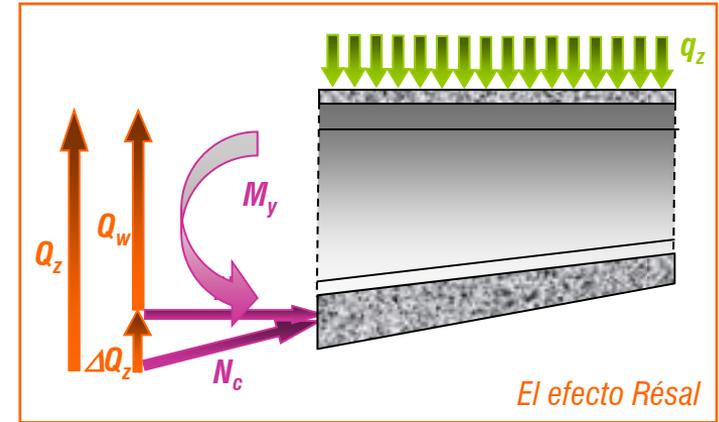
### B. CONFIGURACIÓN LONGITUDINAL

□ La **forma** de los tableros en alzado queda definida por:

- la **ley de cantos**
- la secuencia de **luces de vano**

pero sus **características resistentes** también dependen de:

- la posición de las **juntas de dilatación** interiores (si existen)
- las **vinculaciones pilas tablero**



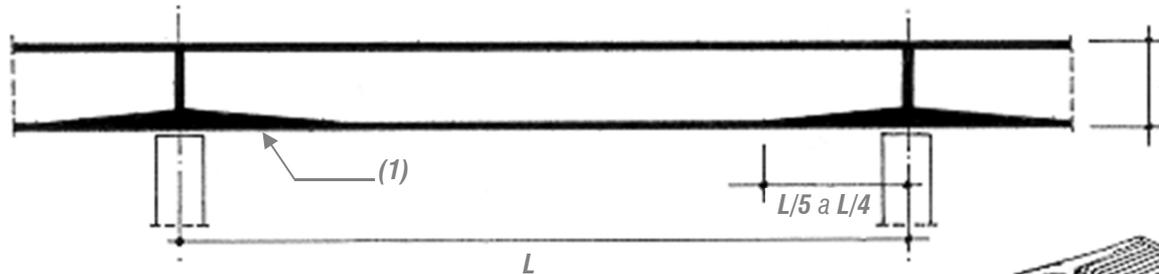
□ La **variación de canto** proporciona

- mayor **ahorro** de materiales, hormigón y armadura activa, al proporcionar un reparto longitudinal de rigideces bien adaptado a las flexiones
- una **reducción del esfuerzo cortante** (efecto Résal) debido a la inclinación de la losa inferior, que permite frecuentemente mantener constante el espesor del alma
- mayores **posibilidades estéticas**

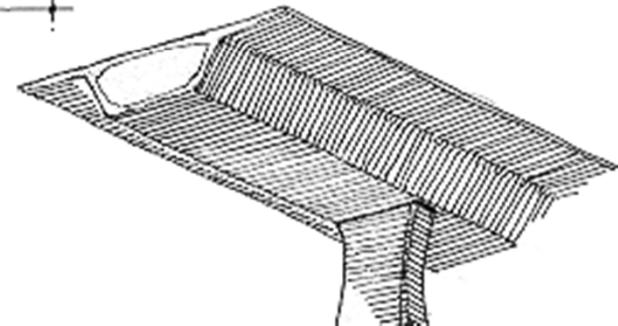
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

## 04 Diseño de tableros de hormigón



(1) aumento del espesor sobre pilas



(a) Tablero de canto constante

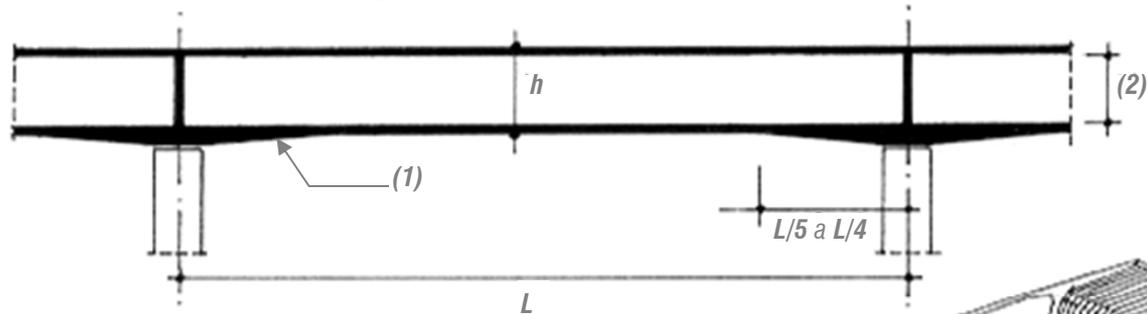
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



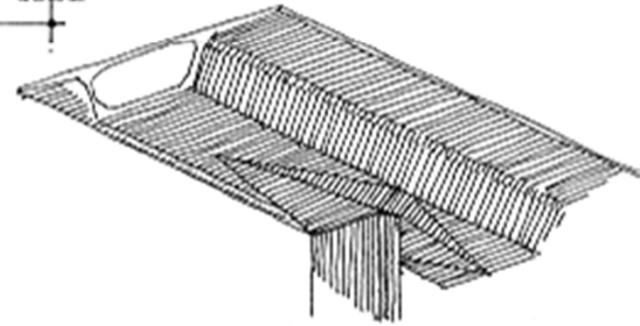
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



- (1) aumento del espesor sobre pilas
- (2) canto interior constante

**(b) Tablero de canto semi-constante**



<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ El *canto constante (a)* es la *solución más simple* y resulta *adecuada para los vanos más cortos* (hasta 75 m), aunque por motivos generalmente estéticos también se ha aplicado a vanos de mayor longitud:

- *ponte de St Cloud* (Francia, 1974, 101.8 m, planta curva)
- *viaducto de Kochertal* (Alemania, 1980, 138 m, voladizos apuntalados)

□ En estructuras de luces cortas y medias y gran longitud, suele ir asociado a técnicas de construcción específicas, como la *construcción vano a vano* o el *empuje*, cuya aplicación también se ve favorecida por la geometría de canto constante

□ Si *las luces crecen* por encima de los 75 m, el peso propio representa una fracción importante de la carga total, resultando ventajoso en tableros continuos *aumentar el canto* hacia las pilas, donde los flectores precisamente son mayores

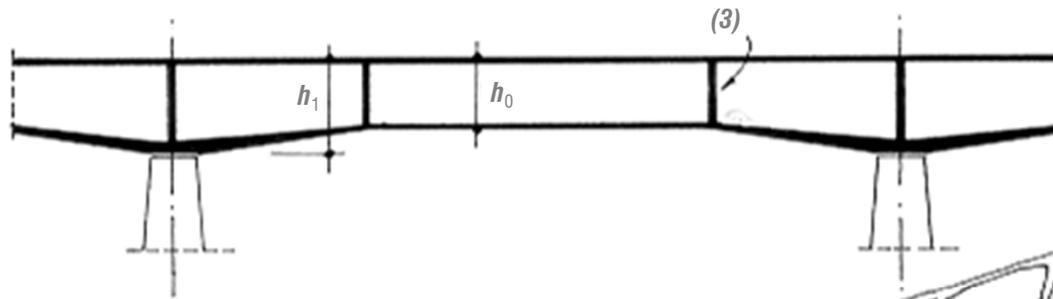
□ Esta recomendación cobra todavía más importancia si la construcción se lleva a cabo por *voladizos sucesivos*, como suele ser el caso cuando los vanos son importantes, puesto que la totalidad del peso propio debe ser resistida en las secciones próximas a las pilas

### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

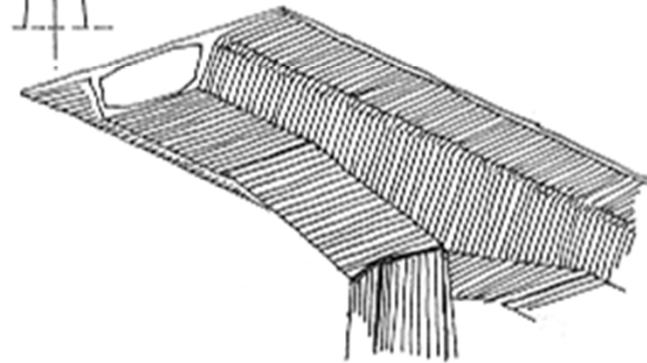


## 04 Diseño de tableros de hormigón



(3) diafragma intermedio

(c) Tablero con cartelas rectas



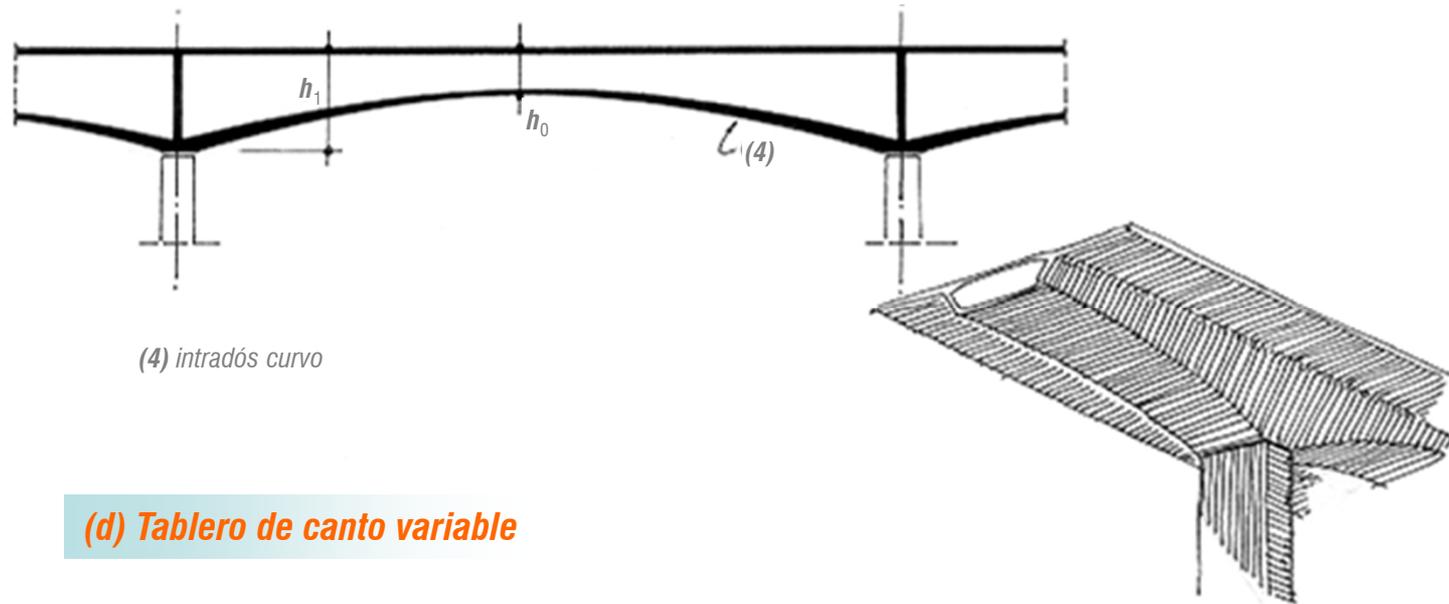
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



(4) intradós curvo

(d) Tablero de canto variable

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

❑ Para dotar al tablero de variación de rigidez, suele trazarse un *intradós curvo (d)*, con trazado preferiblemente parabólico (proporciona alzados más suaves). Curvas de mayor grado conducen a una disminución excesivamente rápida del canto al alejarnos de las pilas y solo puede ser adecuado si existen requisitos de tipo funcional:

▪ *ponte del Canal de Navegación de Houston* (EEUU, 1982, 228.6 m en el vano principal, con variación cúbica)

❑ Entre el canto constante y el intradós curvo, se puede recurrir a disposiciones intermedias, como el *canto semi-constante (b)*, en el cual el deseable aumento de espesor de la losa inferior se consigue hacia fuera, y con mayor eficacia los *acartelamientos rectos (c)*, que si bien exigen diafragmas en las secciones de cambio de inclinación de la losa inferior para contrarrestar el empuje al vacío, pueden constituir opciones formales interesantes:

▪ *pont Aval* (Francia, 1968, 92 m)

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ La *distribución de luces* tiene que ver esencialmente con la longitud de los vanos laterales y da lugar a consideraciones *estructurales* y *constructivas*

▪Las primeras apuntan a la optimización de esfuerzos (momentos flectores principalmente) y en general serán compatibles con las segundas si el tablero se ejecuta íntegramente sobre cimbra. En tal caso se puede proponer

$$L_1 = \alpha L \text{ con } \alpha = 0.75 \text{ a } 0.80$$

salvo que el primer vano sea de compensación estricta ( $L_1 \leq 0.25L$ , frecuentemente disimulado en estribos) y requiera *anclar* el tablero en estribos

▪Sin embargo, cuando el proceso constructivo o los medios disponibles entran en juego, se puede llegar a otras disposiciones:  $L_1 = 0.5L$  en algunas obras construidas por voladizos compensados,  $L_1 = 0.5L$  o  $L$  en puentes empujados (según se recurra o no a apoyos provisionales)...

▪Finalmente, cuando en un viaducto concurren tramos con luces diferentes, como en el de *Oléron* presentado a continuación, conviene introducir un vano de transición con  $L^* = 0.5(L_1 + L_2)$

### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

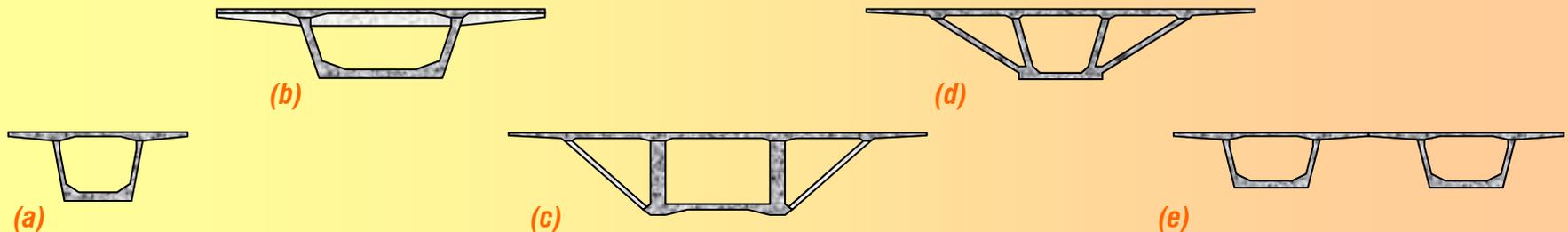


## 04 Diseño de tableros de hormigón

Algunos ejemplos	$L_{max}$	$h$	$B$	sección transversal
Viaduc d´Oléron* (Francia, 1966)	79	2.5 a 4.5	10.6	(a)
Puente de Bendorf (Alemania, 1964)	208	4.4 a 10.45	13.2	(a)
Puente de Pine Valley Creek (EEUU, 1974)	137	5.8	12.8	(a)
Puente de Felsenau (Suiza, 1978)	156	3.0 a 8.0	26.2	(a)
Puente de Sallingsund* (Dinamarca, 1978)	93	2.5 a 5.5	16.1	(b)
Puente de La Gruyère (Suiza, 1978)	60.5	4.0	23.7	(b)
Puente de Vejle fjord (Dinamarca, 1980)	110.0	3.5 a 6.0	27.6	(b)
Viaducto de Kochertal (Alemania, 1980)	91	6.5	30.76	(c)
Viaduc de Chillon* (Suiza, 1969)	104	2.2 a 5.64	13.0	(d)
Pont de St Cloud* (Francia, 1974)	101.8	3.6	20.4	(d)
Pont Aval* (Francia, 1968)	92	3.5 a 5.5	15.8	(e)

### Secciones tipo

(\*) dovelas prefabricadas



#### <4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

#### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Viaducto de Oléron* (Francia, 1966, vanos de 79 m, 2900 m de longitud total)

- Cajón único
- $B=10.6\text{ m}$  ,  $h=2.5\text{ a }4.5\text{ m}$
- $h/L \in [1/31.6, 1/17.56]$
- $\sum I_i = 28.75 + 7 \times 39.5 + 59.25 + 26 \times 79 + 59.25 + 7 \times 39.5 + 28.75$

resultando  $\alpha = 28.75/39.5 = 0.73$   
 $59.25 = 0.5(39.5 + 79)$

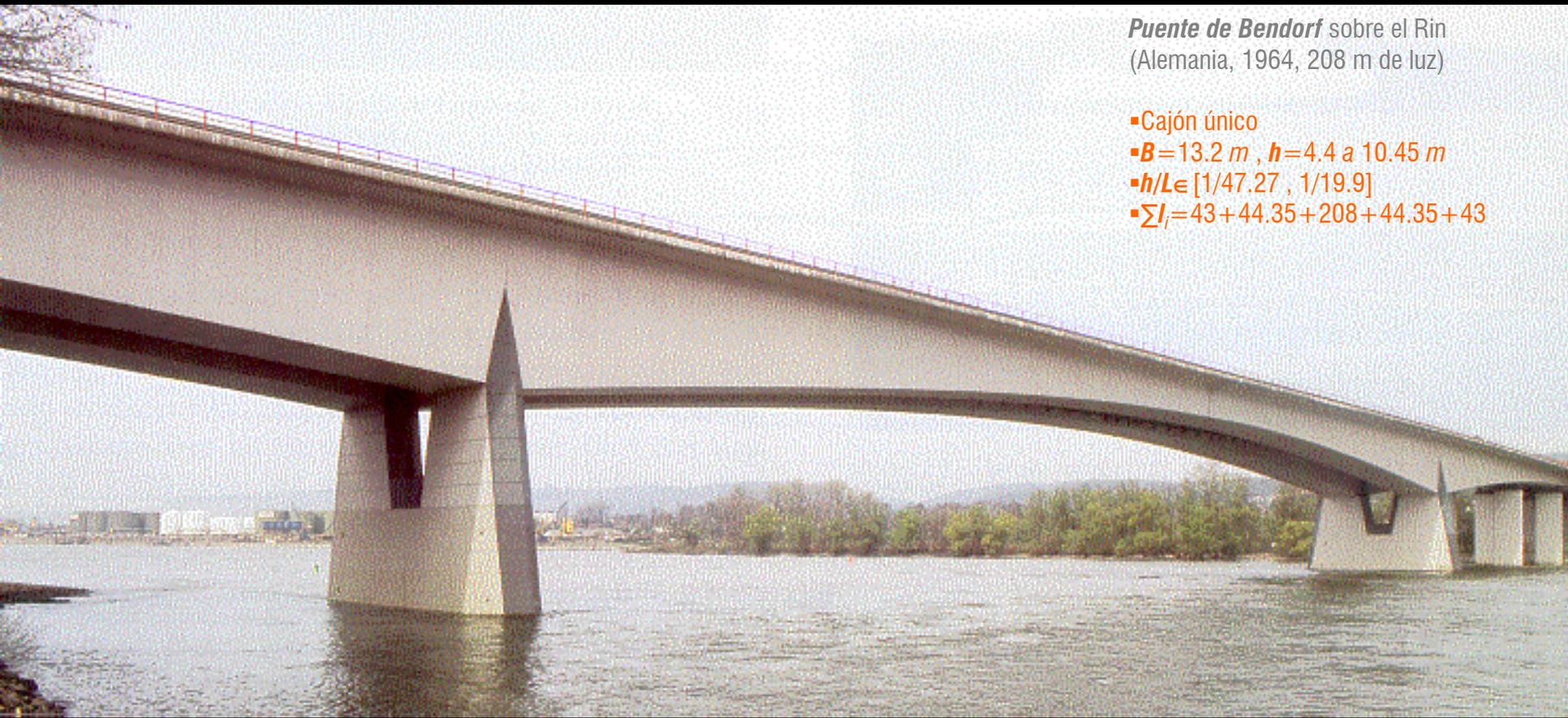
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Puente de Bendorf* sobre el Rin  
(Alemania, 1964, 208 m de luz)

- Cajón único
- $B=13.2\text{ m}$  ,  $h=4.4\text{ a }10.45\text{ m}$
- $h/L \in [1/47.27, 1/19.9]$
- $\sum l_i = 43 + 44.35 + 208 + 44.35 + 43$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Puente de Pine Valley Creek* (EEUU, 1974, 137 m de vano máximo)

- Cajón único (dos tableros)
- $B = 12.8 \text{ m}$  ,  $h = 5.8 \text{ m}$
- $h/L = 1/23.62$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Puente de Felsenau* (Suiza, 1978, 156 m de vano máximo)

- Cajón único
- $B = 26.2 \text{ m}$  ,  $h = 3.0 \text{ a } 8.0 \text{ m}$
- $h/L = [1/52 , 1/19.5]$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Puente de Sallingsund* (Dinamarca, 1978, 51+17×93+51 m)

- Cajón único con losa superior nervada
- $B=16.1\text{ m}$  ,  $h=2.5\text{ a }5.5\text{ m}$
- $h/L=[1/37.2, 1/16.91]$
- $\sum l_j=51+17\times 93+51$

resultando  $\alpha=51/93=0.55$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Puente de La Gruyère* (Suiza, 1978, luces de 60.5 m)

- Cajón único con losa superior nervada
- $B = 23.7 \text{ m}$ ,  $h = 4.0 \text{ m}$
- $h/L = 1/15.13$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Puente de Vejle Fjord* (Dinamarca, 1980, catorce vanos de 110 m)

- Cajón único con losa superior nervada
- $B=27.6\text{ m}$  ,  $h=3.5\text{ a }6.0\text{ m}$
- $h/L=[1/31.43, 1/18.33]$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



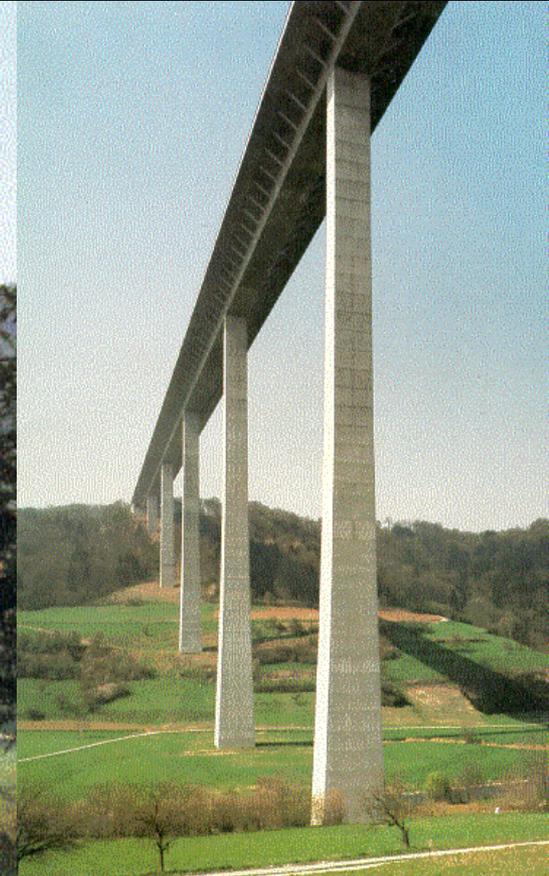
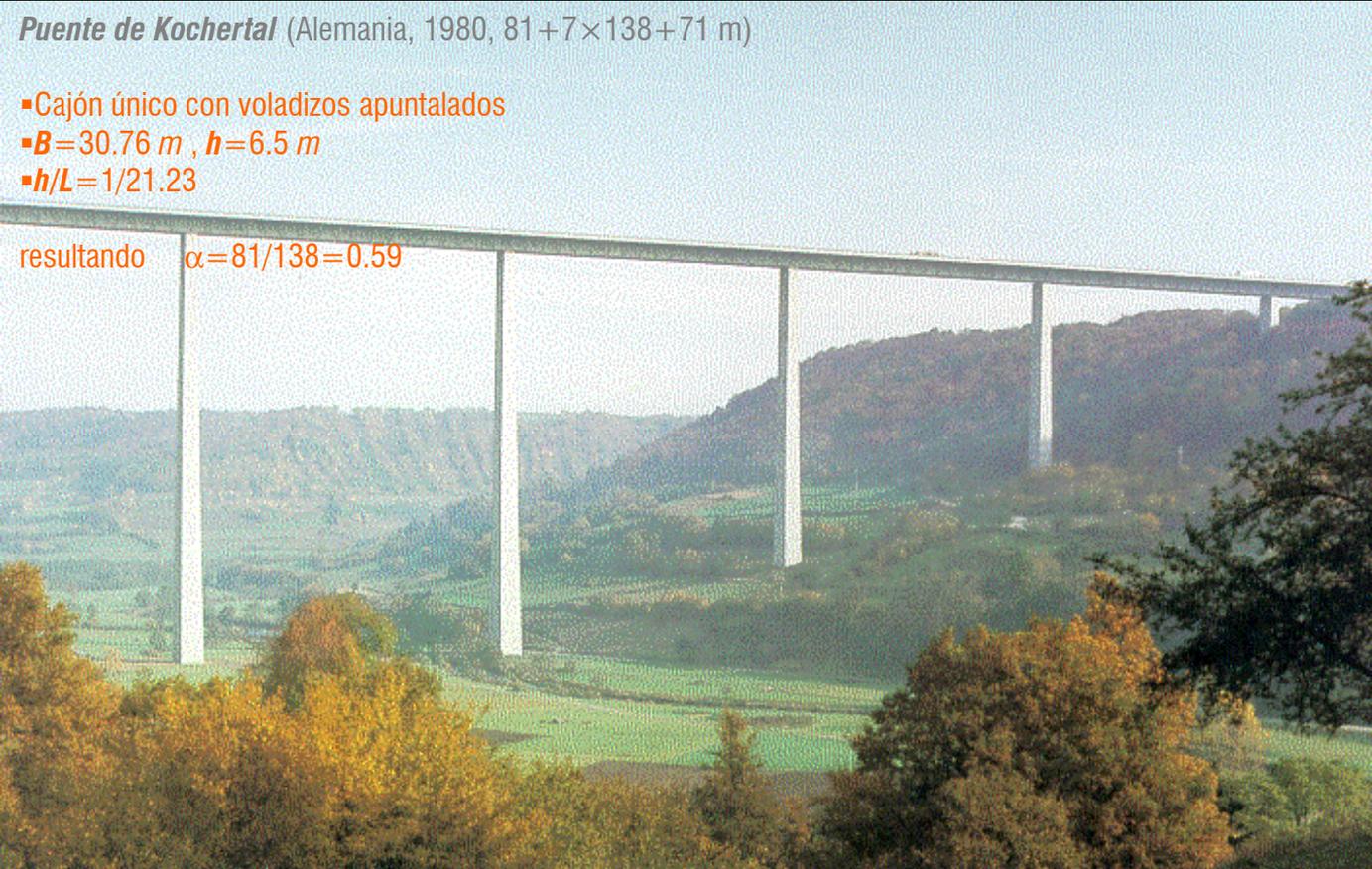
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

*Puente de Kochertal* (Alemania, 1980, 81+7×138+71 m)

- Cajón único con voladizos apuntalados
- $B=30.76\text{ m}$ ,  $h=6.5\text{ m}$
- $h/L=1/21.23$

resultando  $\alpha=81/138=0.59$



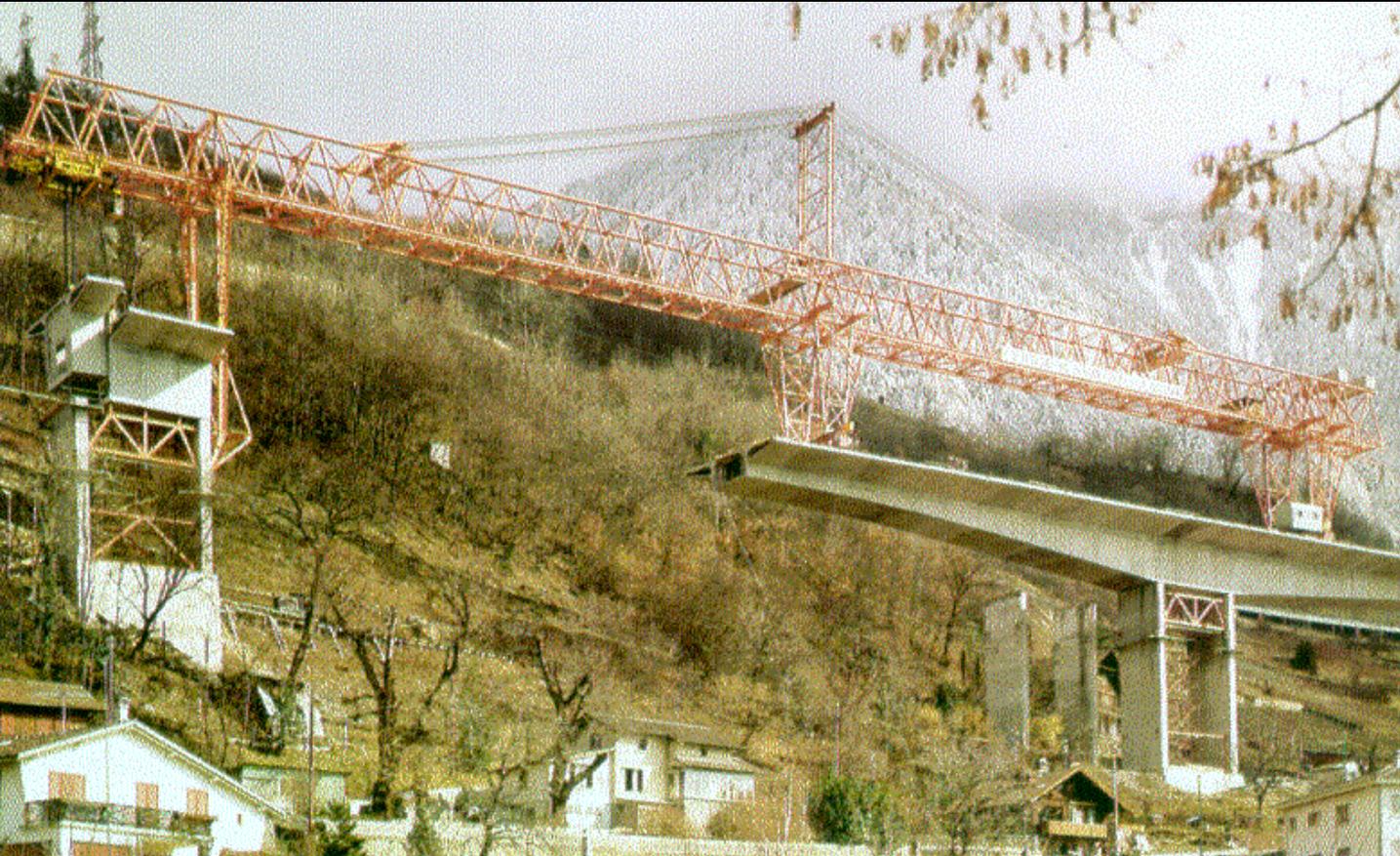
<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Viaduc de Chillon* (Suiza, 1969, vano máximo de 104 m)

- Cajón tricelular
- $B = 13.0 \text{ m}$  ,  $h = 2.2 \text{ a } 5.64 \text{ m}$
- $h/L = [1/47.27 , 1/18.44]$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Pont de St Cloud* (Francia, 1974, luz máxima de 101.8 m)

- Cajón tricelular
- $B = 20.4 \text{ m}$  ,  $h = 3.6 \text{ m}$
- $h/L = 1/28.28$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



*Pont Aval* (Francia, 1968, vano máximo de 92 m)

- Dos cajones solidarios
- $B = 15.8 \text{ m}$  ,  $h = 3.5 \text{ a } 5.5 \text{ m}$
- $h/L = [1/26.29 , 1/16.73]$

<4.3.1 Características morfológicas de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ **ALGUNAS VENTAJAS DE LA SECCIÓN EN CAJÓN.** Desde un punto de vista resistente, las secciones celulares de los puentes presentan claras propiedades:

- Poseen **losas de gran anchura**, tanto superior como inferior, lo que las predispone a resistir grandes momentos **flectores**, positivos y negativos
- Su condición de **sección cerrada** les proporciona gran **rigidez torsional**, con alabeos pequeños y **distorsión reducida**
- La propiedad anterior les permite soportar **cargas excéntricas** con escasa variación de las tensiones longitudinales  $\sigma_x^*$  debidas a la flexión, siendo especialmente indicadas en puentes curvos, donde flexión y torsión están intrínsecamente acopladas
- Su **elevado radio de giro** les proporciona un excelente rendimiento para el **pretensado**
- Como consecuencia de todo ello, la forma puede perfilarse con espesores reducidos, obteniendo **tableros ligeros**

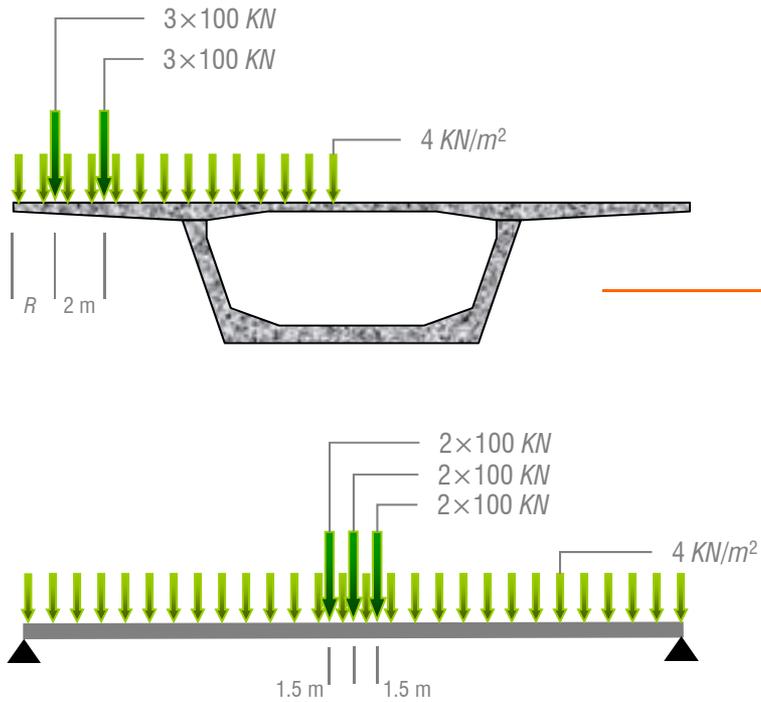
<4.3.2 Características estructurales de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

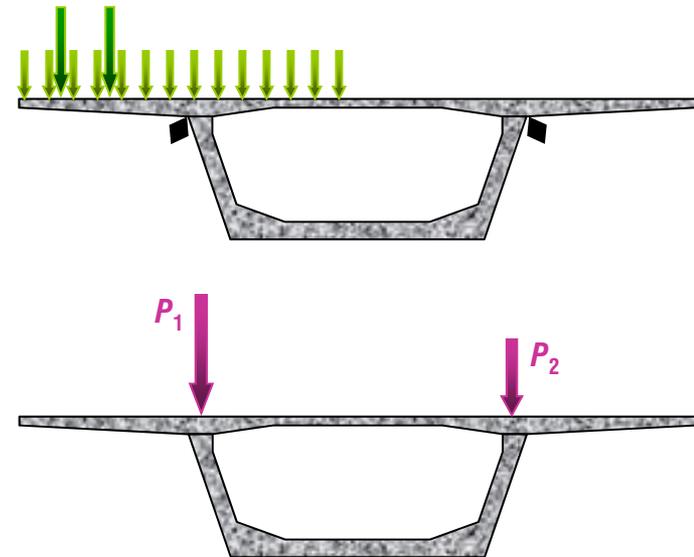


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



(a) Proporciona prácticamente toda la flexión transversal y en particular la de la losa superior bajo la acción del tren de cargas (*flexión local*)



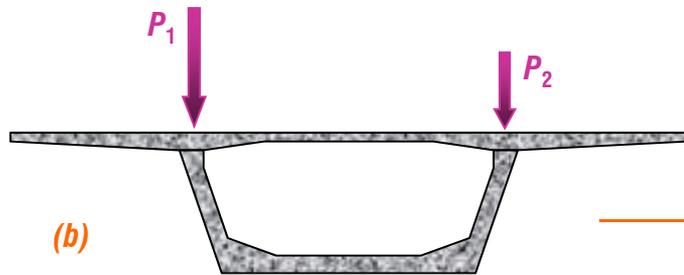
(b) Proporciona la *respuesta longitudinal* de la viga cajón

<4.3.2 Características estructurales de los tableros en cajón>

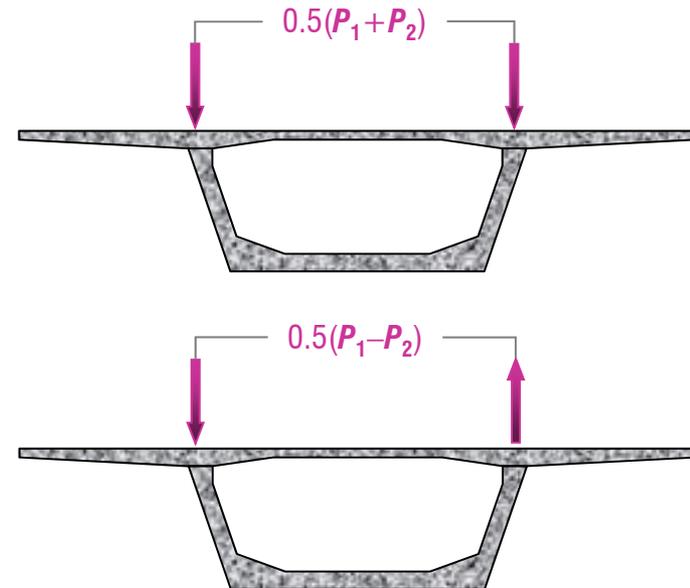
<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



(c) Esta acción proporciona la parte simétrica de la respuesta longitudinal, dando lugar a la **flexión del cajón**



(d) Acción torsora, que induce la parte antisimétrica de la respuesta longitudinal, originando la **torsión** y la **distorsión**

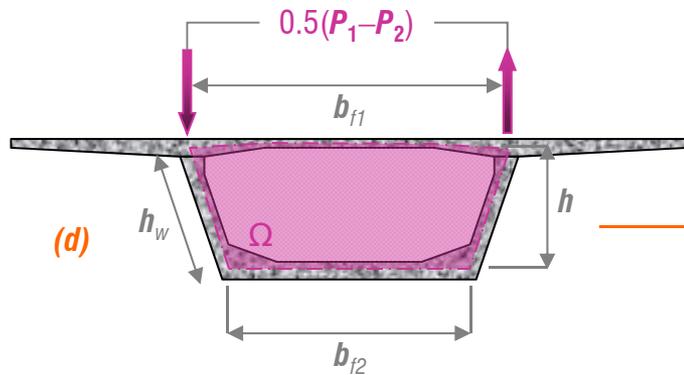
<4.3.2 Características estructurales de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

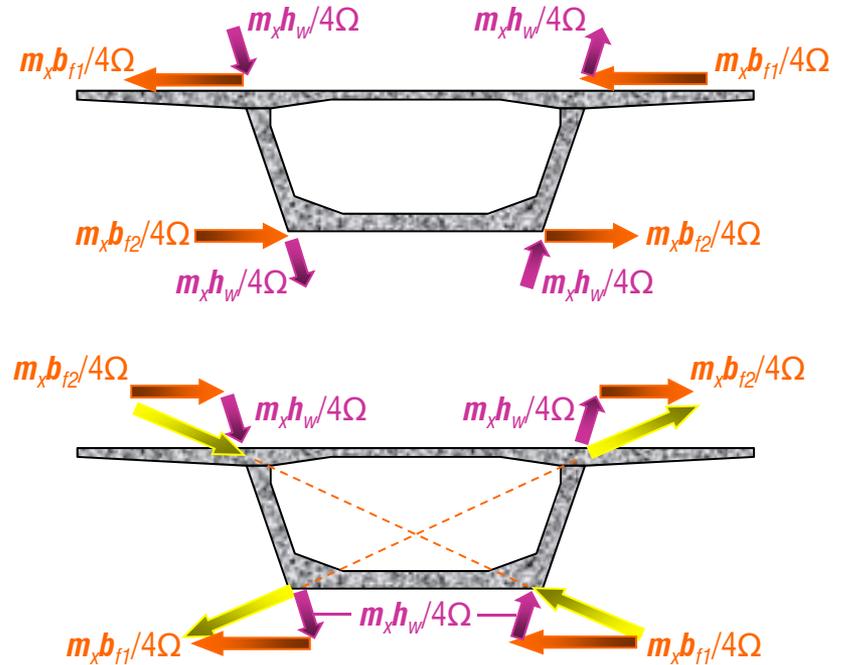
## 04 Diseño de tableros de hormigón



acción resultante:  
 $m_x = 0.5(P_1 - P_2)b_{f1}$

$\Omega = 0.5(b_{f1} + b_{f2})h$

(d1) Acción que da lugar a la **torsión del cajón**



(d2) Acción que da lugar a la **distorsión del cajón**

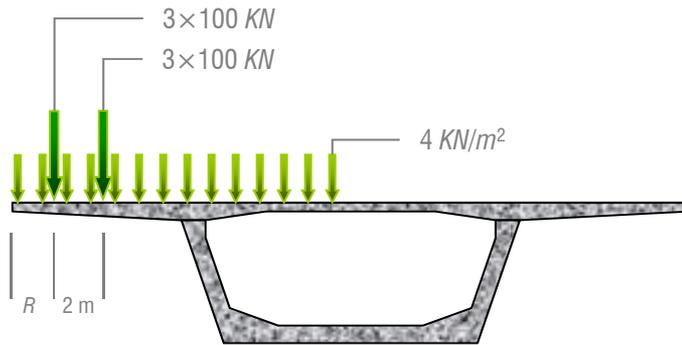
<4.3.2 Características estructurales de los tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



- Si  $b_f/L_{ef} < 1/6$ , el **modelo viga** adecuadamente plasmado (control del arrastre de cortante mediante anchos eficaces) permitirá obtener una buena aproximación de las distribuciones de tensiones y movimientos de la estructura. Cada respuesta elemental (*flexiones local y global, torsión y distorsión*) se evaluará por separado, con la correspondiente teoría 1D
- Si  $b_f/L_{ef} > 1/5$ , el modelo **lámina plegada** integrará todas las respuestas, proporcionando los esfuerzos de membrana y el campo de momentos en cada una de las paredes del tablero

### <4.3.2 Características estructurales de los tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

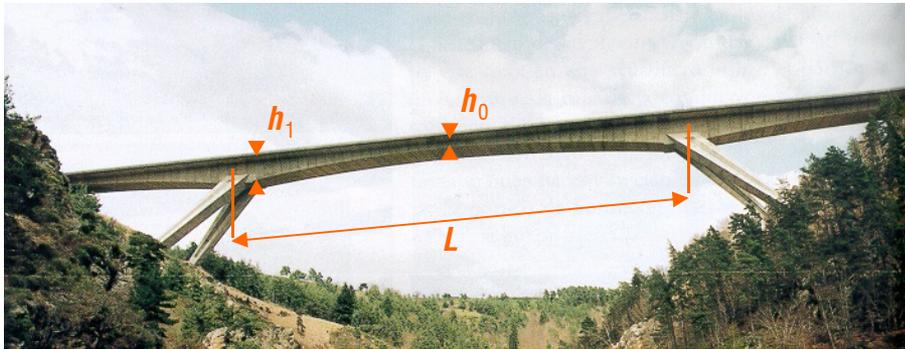


## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ Abordaremos el dimensionamiento de estas construcciones suponiendo conocidos los parámetros  $L_i$  y  $B$  del puente, centrándonos en:

- La elección de la esbeltez del tablero
- La geometría (espesores) de la sección transversal, entendiendo que su forma ya ha sido seleccionada en función de  $B$  (ver sección 1.1)

### A. ESBELTEZ DE LOS TABLEROS



- Canto variable:  $h_1/L \approx 1/20$   
 $h_0/L \approx 1/50$
- Canto constante:  $h/L \approx 1/20$

<4.3.3 Diseño de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

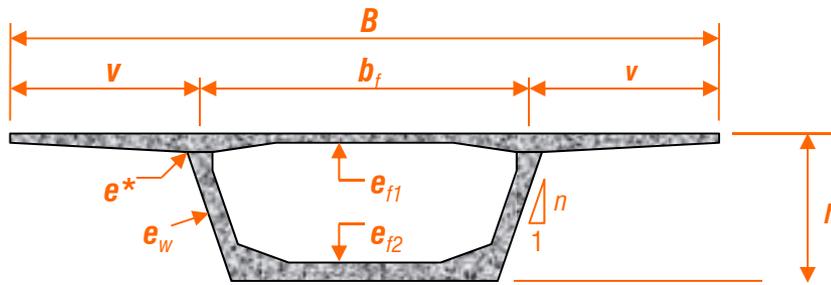


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

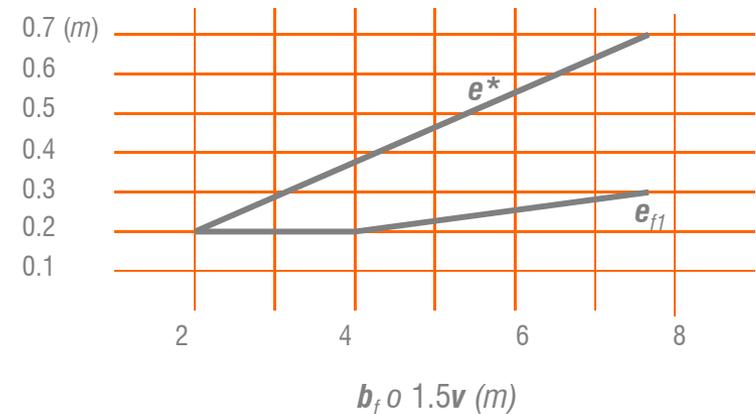
## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ En *tableros continuos*, estos valores representan la buena práctica (ver estadísticas). Puentes más esbeltos requerirán más pretensado, resultando más costosos, mientras que la tendencia contraria proporcionará en general economía. Otros aspectos, como el proceso constructivo o la estética, pueden también introducir variaciones

### B. GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL



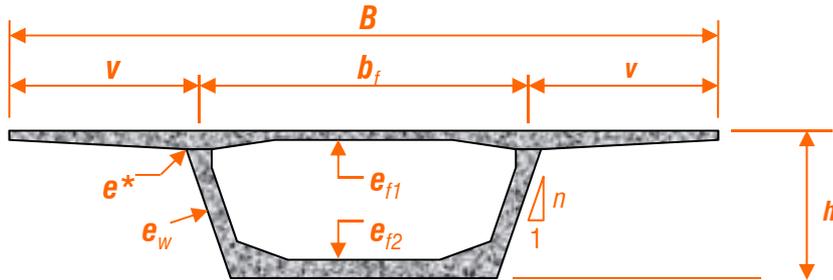
▪ **Losa superior:** en su respuesta prima la **flexión transversal** debido a su función de piso del tablero. Por ello su forma no suele variar en sentido longitudinal y presenta transiciones lineales o parabólicas del espesor entre alas (sobre  $\sim 0.25b_f$ ) y en los voladizos. Para estos se suele tomar  $v \approx 0.4b_f$  pudiendo ir a valores mayores si se prevé aceras amplias



#### <4.3.3 Diseño de tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

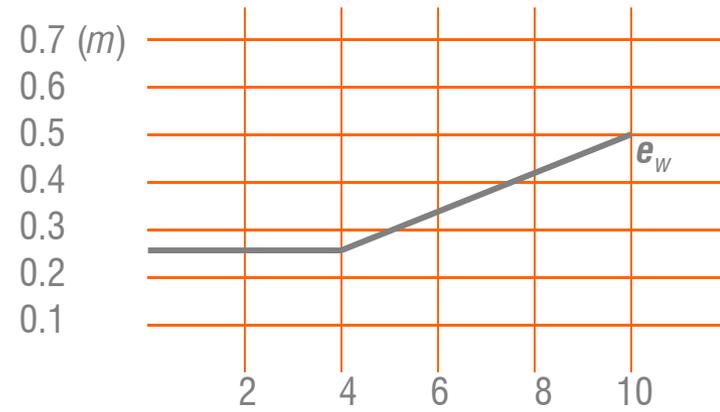
## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪ **Almas:** en su respuesta prima la torsión y el esfuerzo cortante, por ello su espesor puede variar en sentido longitudinal, presentando entonces un valor mínimo en centro de vano. Estructuralmente, el valor del esfuerzo cortante a resistir es proporcional al área cargada, luego  $e_w h = \kappa B L$ , resultando

$$e_w = k_1/h = k_2 B$$

▪ Pero constructivamente conviene aumentar su espesor con el canto  $h$ , para facilitar el hormigonado



$h$  (m) siempre que  $B \leq 16$  m

Fórmulas de Guyon:

$$e_w \geq \frac{h_w}{36} + 5 + \Phi \text{ (cm) si } h \leq 6 \text{ m}$$

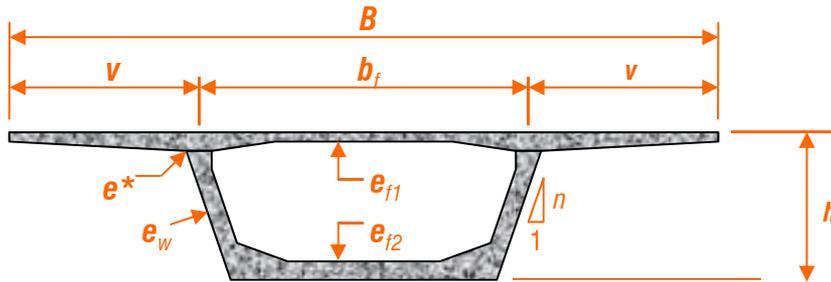
$$e_w \geq \frac{h_w}{22} + 8 + \Phi \text{ (cm) si } h > 7 \text{ m}$$

diámetro de las vainas

### <4.3.3 Diseño de tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪ **Losa inferior:** su diseño se asocia a la flexión longitudinal del tablero y más concretamente al momento flector a resistir sobre apoyos. Por ello

$$b_{f2}e_{f2}h = \kappa BL^2$$

con  $\kappa \approx 10^{-4}$  a  $1.5 \cdot 10^{-4}$  (Manterola). En centro de vano, argumentos constructivos aconsejan no bajar de 20 cm

□ Estas sencillas **reglas** de dimensionamiento de la sección transversal se proponen para tableros monocelulares, pero su aplicación a secciones más complejas (bicelulares, cajones yuxtapuestos...) es válida en general con las excepciones siguientes:

- **Losa superior nervada.** Se puede estimar  $e_{f1}$  entrando con el menor de los dos valores siguientes:  $s$  o  $b_f$ . Además no es necesario prever más regruessamientos  $e^*$  que los constructivos por paso de vainas
- **Cajones de gran dimensión.** En este caso, la distorsión puede requerir espesores mayores de las almas

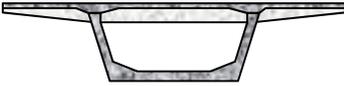
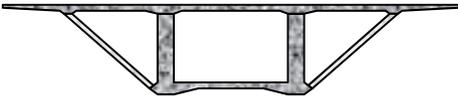
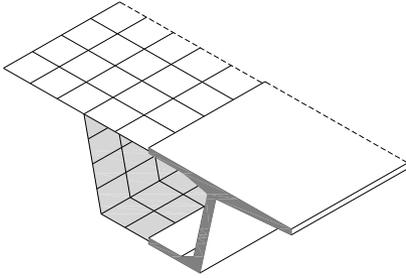
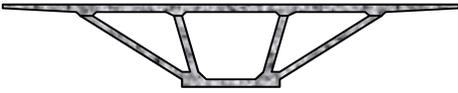
### <4.3.3 Diseño de tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón

- A. **SELECCIÓN DEL MODELO.** Va a estar condicionada por la relación  $(B/L)_{ef}$  y el **tipo de sección del tablero**, según posea uno o varios cajones longitudinales

Sección transversal	modelado estructural	tipo de análisis
	<b>Modelo 1D:</b> tablero como viga única, siempre que $(L/B)_{ef} \geq 6$	<b>En rigidez</b> (MEF 1D), con un modelo completo que incluya las subestructuras. Requiere cálculo local para las flexiones en el piso y control de la distorsión
	<b>Modelo 2D:</b> tablero como lámina plegada si $(L/B)_{ef} \leq 5$	<b>En rigidez</b> (MEF 2D), con un modelo completo que incluya las subestructuras y los diafragmas transversales
		<b>Nota:</b> la fisuración y el canto variable requieren <b>discretizar la directriz</b> (MEF)
		

<4.3.4 Elementos para el análisis de tableros en cajón>

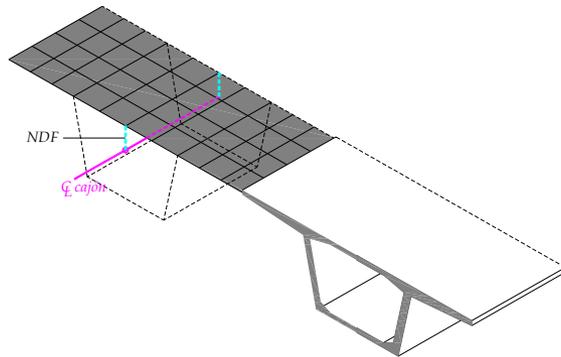
<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

## Sección transversal



## modelado estructural

**Modelo 1D:** piso como emparrillado de barras y cajones como vigas, siempre que  $(L/B)_{ef} \geq 6$  en cada una de ellas. Requiere incluir diagonales para captar el trabajo de membrana de la losa superior y nudos de dimensión finita

**Modelo híbrido:** piso como losa y cajones como vigas. También requiere nudos de dimensión finita para conectar piso y cajones

**Modelo 2D:** si los cajones son de ancho excesivo

## tipo de análisis

**En rigidez** (MEF 1D), con un modelo completo que incluya las subestructuras. Requiere cálculo local para las flexiones en el piso y control de la distorsión

**En rigidez** (MEF 2D para el piso y 1D para los cajones), con un modelo completo que incluya las subestructuras. Requiere control de la distorsión

**Nota:** la fisuración y el canto variable requieren **discretizar la directriz** (MEF)

<4.3.4 Elementos para el análisis de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### B. ANÁLISIS EN SERVICIO Y EN CONSTRUCCIÓN

- ❑ Tal y como se resume en la última sección de este tema, los **sistemas evolutivos** de construcción (*vano a vano, por empuje o en voladizo*) demandan tableros rígidos y ligeros, por lo que estos suelen diseñarse en cajón
- ❑ En tal caso, el **análisis en servicio** está principalmente condicionado por las **acciones variables y accidentales** (también le corresponde las cargas muertas), mientras que la **construcción** se ajusta al **peso propio**
- ❑ Actualmente el software de cálculo disponible permite comprobar cualquier sistema de construcción evolutiva, simulando la **deconstrucción** del puente para facilitar el ajuste geométrico de cada fase de tal forma que quede garantizado el trazado final de la rasante. Además, al tratarse de construcciones en hormigón estructural, el **desarrollo en el tiempo** condiciona la características mecánicas del modelo (fluencia...)

<4.3.4 Elementos para el análisis de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



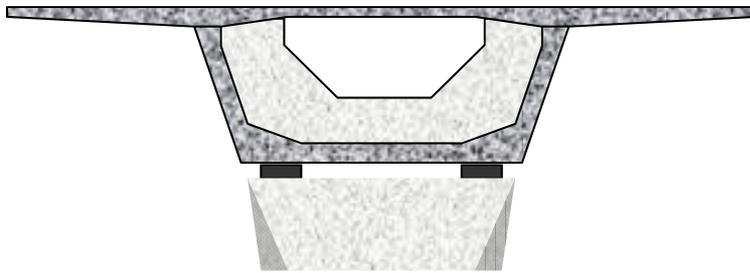
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

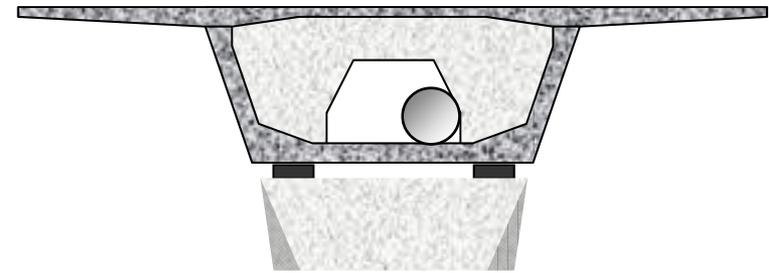
### A. DIAFRAGMAS SOBRE APOYOS, CARTELAS Y JUNTAS DE DILATACIÓN

- *Diafragmas sobre apoyos*. Tienen una doble función:

- 1) *asegurar la transmisión de las cargas verticales a los apoyos, recogiendo el cortante que se transporta por las almas*
- 2) *impedir la distorsión de la sección transversal bajo el efecto de los momentos torsores*



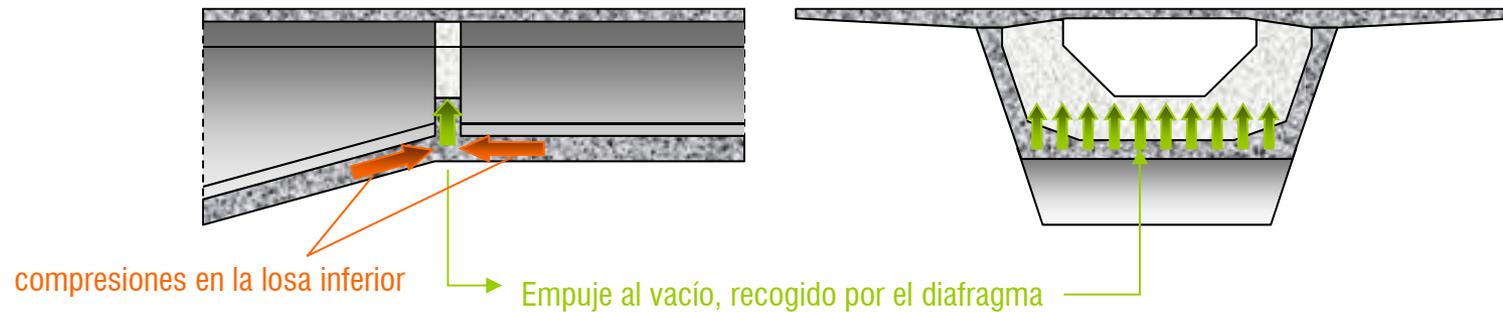
*(a) Disposición que transmite el **cortante** adecuadamente y permite el **paso** del personal de mantenimiento*



*(b) Disposición alternativa, que es además compatible con el apoyo de **tuberías** sobre la losa de fondo*

## 04 Diseño de tableros de hormigón

▪ **Puentes con cartelas lineales:** el quiebro en el trazado de la losa inferior genera un empuje al vacío hacia el interior del cajón que debe ser resistido por algún elemento dispuesto transversalmente

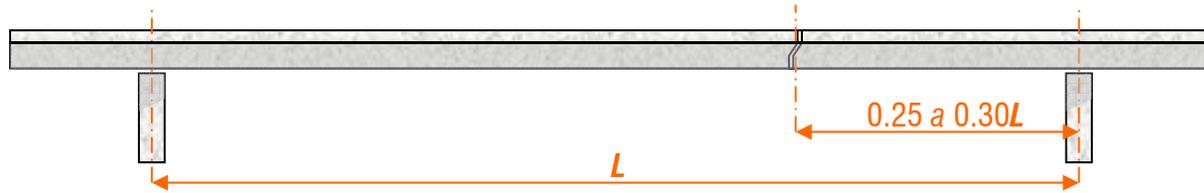


▪ **Juntas de dilatación:** la principal dificultad reside en situarlas correctamente a lo largo del tablero y dotarlas de un buen aspecto

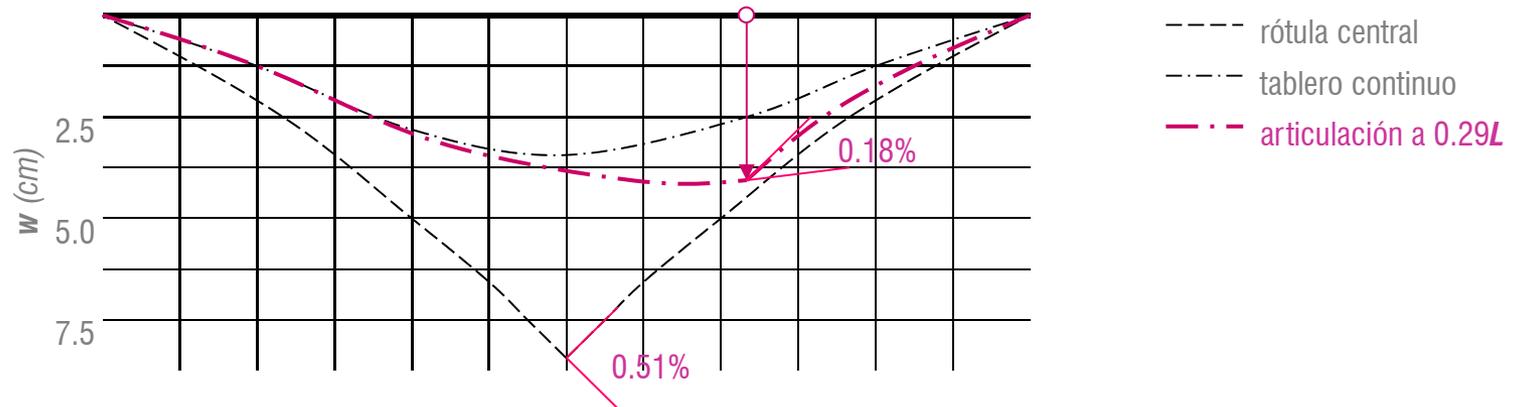
1) su **separación** suele oscilar entre 300 y 600 m, aunque estos valores pueden verse ampliamente superados en algunas obras. El puente sobre la ría de Arosa, con una longitud de 1983.40 m, se construyó sin juntas

2) su **localización** dentro del vano debe buscar una sección de momento nulo bajo acciones permanentes ( $0.25$  a  $0.30L$ )

## 04 Diseño de tableros de hormigón



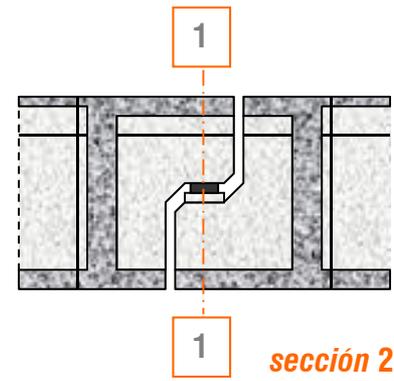
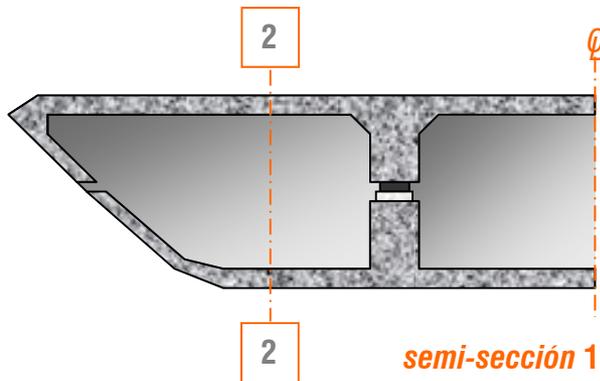
*Tablero continuo: posición de las juntas de dilatación*



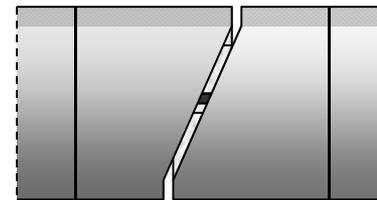
*Deformación de un tablero continuo con junta de dilatación (viaducto de Oléron, 26 vanos de 79 m)*

## 04 Diseño de tableros de hormigón

- 3) En cuanto a la **estética**, la principal dificultad reside en disimular con acierto las medias maderas. Esta opción resulta más sencilla si existen almas interiores, como es el caso de los tableros multicelulares



*Pont de Saint Cloud*



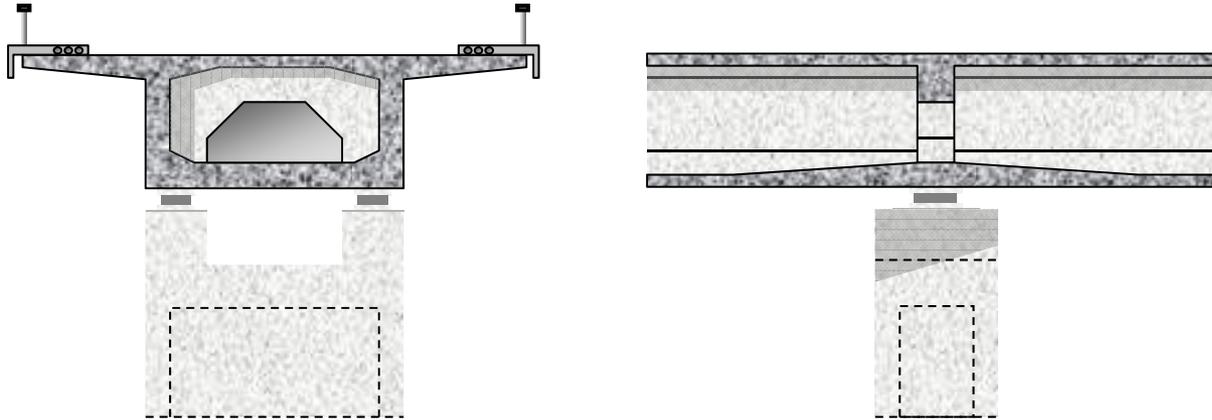
## 04 Diseño de tableros de hormigón

### B. CONDICIONES DE APOYO DE LOS TABLEROS, IMPUESTAS POR EL DISEÑO LONGITUDINAL Y POR EL PROCESO CONSTRUCTIVO

▪ **Diseño longitudinal:** en general tendremos apoyo simple en **estribos**, mediante neoprenos (zunchados, confinados o teflón según el nivel de la reacción vertical y las coacciones seleccionadas). En **pilas**, la cuestión a resolver trata de la conexión/desconexión de las rotaciones  $\theta_y$  del tablero y de sus desplazamientos longitudinales  $u$  y está estrechamente relacionada con el **proceso constructivo**

▪ **Proceso constructivo:** mientras que los sistemas de construcción mediante cimbra tradicional, cimbra autolanzable o por empuje se conjugan con apoyos simples de neopreno (zunchado, confinado o con teflón, según convenga) y diafragma único, la **construcción en voladizo** introduce una discusión más compleja, directamente relacionada con la altura de las pilas y que conforma la disposición y número de los **diafragmas de apoyo**

## 04 Diseño de tableros de hormigón



□ **Apoyo simple mediante neoprenos.** Requiere un solo diafragma en la vertical del apoyo, con las correspondientes ventanas de paso. Suele darse en:

- Tableros hormigonados mediante **cimbra tradicional**. Una posible singularidad aparece cuando se disponen apoyos puntuales. En tal caso, al estar centrada la reacción vertical, se debe cuidar la forma de la abertura en el diafragma
- Tableros contruidos **vano a vano, empujados** o contruidos en **voladizo evolutivo**. Las secciones apoyadas tendrán fuertemente coaccionados los desplazamientos  $w$  y  $\theta_x$ , coaccionados elásticamente  $u$  y  $v$  y prácticamente libres las rotaciones  $\theta_y$  y  $\theta_z$

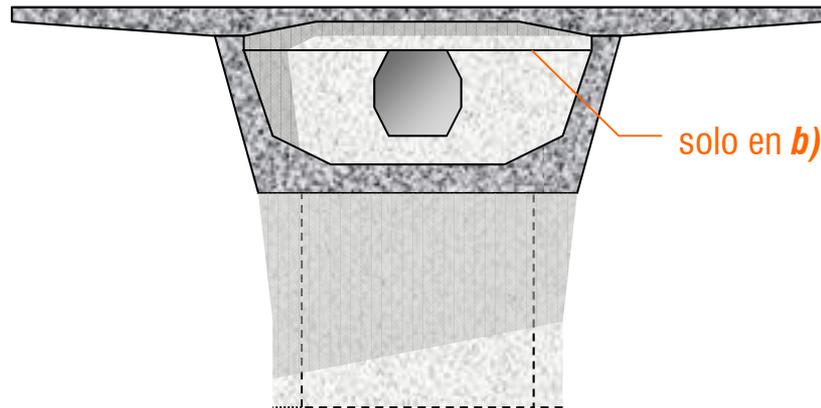
<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>

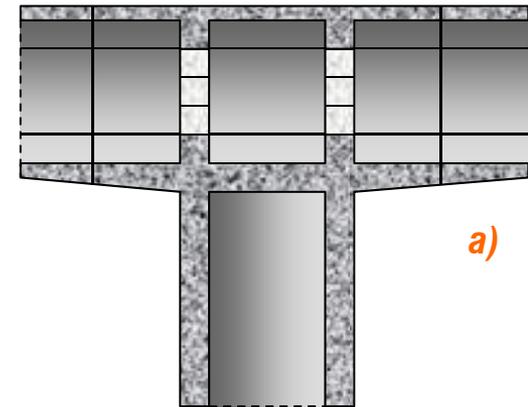


UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

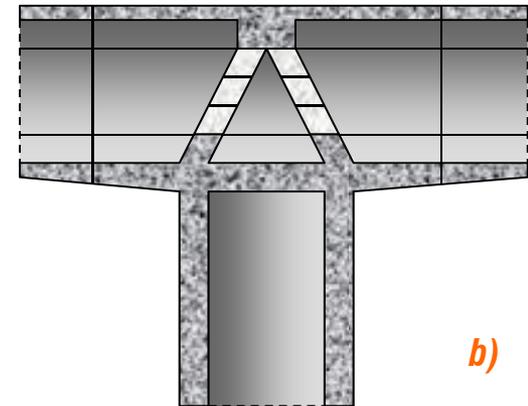
## 04 Diseño de tableros de hormigón



❑ **Conexión monolítica.** Requiere en general dos diafragmas en prolongación de las paredes de las pilas, salvo que estas tengan sección en  $H$ . Es la opción más adecuada en tableros construidos por **voladizos compensados**, cuando las pilas son altas y las dovelas se hormigonan in situ, cabiendo dos disposiciones: diafragmas verticales o diafragmas inclinados. La segunda opción funciona mejor (evita la fisuración de las almas) pero es de ejecución más compleja

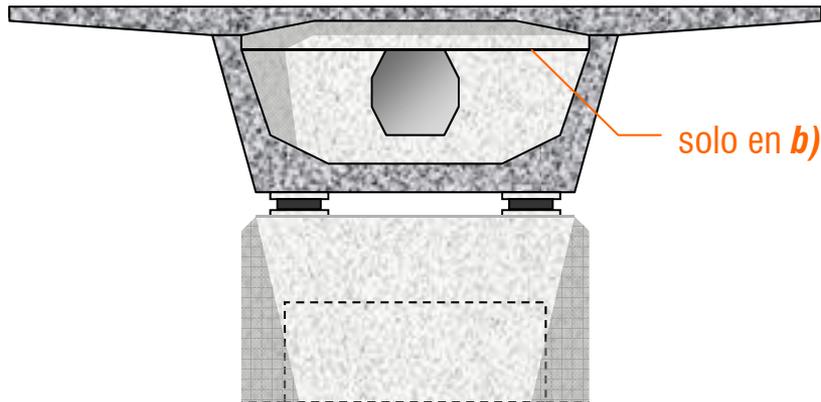


a)

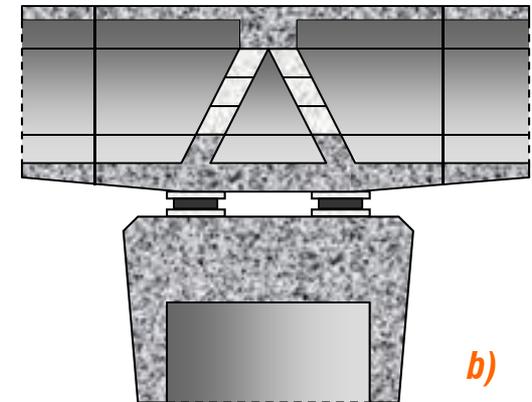
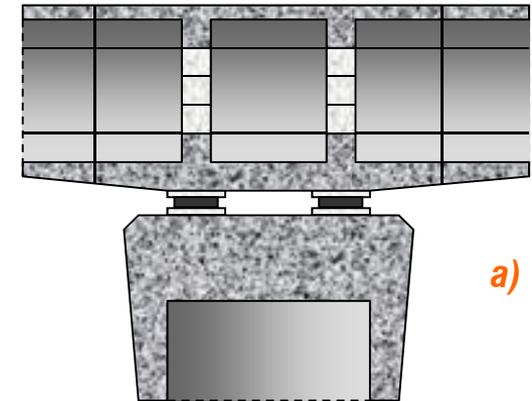


b)

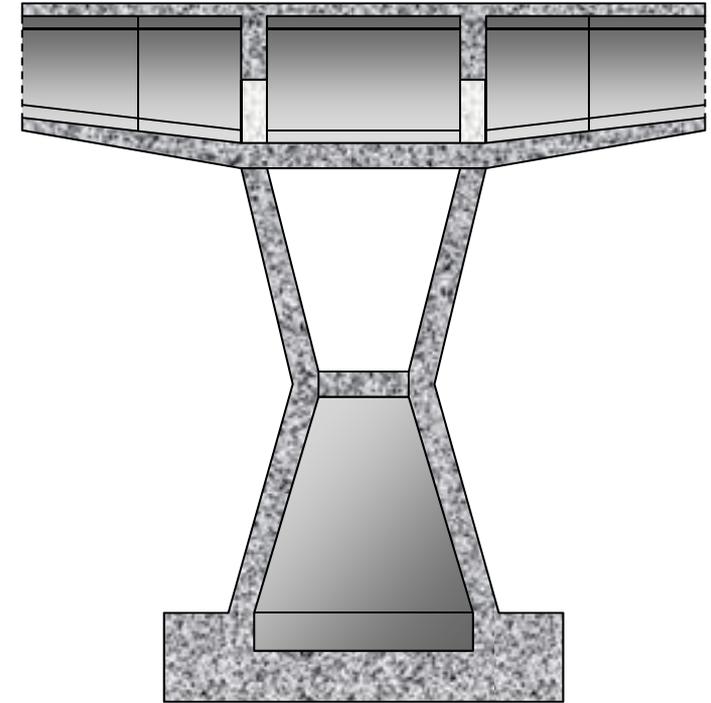
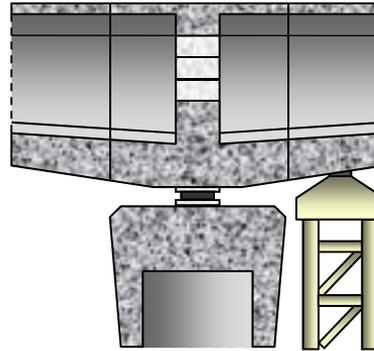
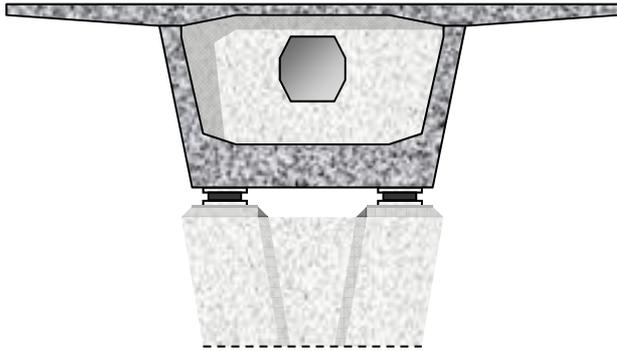
## 04 Diseño de tableros de hormigón



❑ **Neoprenos desdoblados.** Requiere nuevamente dos diafragmas en prolongación de las líneas de apoyo, verticales o inclinados. Es una opción adecuada en tableros contruidos por **voladizos compensados** con pilas de escasa altura, o por dovelas prefabricadas. En este caso, las secciones apoyadas tienen fuertemente coaccionados los desplazamientos  $w$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$  y coaccionados elásticamente  $u$  y  $v$



## 04 Diseño de tableros de hormigón



❑ **Construcción por voladizos compensados con apoyo provisional.** Solo se requiere un diafragma en la vertical de los apoyos definitivos y espesor suficiente en la losa de fondo para resistir la flexión local

❑ **Construcción por voladizos compensados con pilas de pantallas flexibles.** Requiere un diafragma en prolongación cada pantalla. Es una opción alternativa al caso anterior cuando las pilas son cortas, con una estética diferente, poco acertada si se adapta a pilas altas

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### C. ASPECTOS ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVOS DERIVADOS DE LA CONTINUIDAD EN PUENTES CONSTRUIDOS POR VOLADIZOS COMPENSADOS

□ *La articulación central*, presente en la mayoría de los primeros grandes puentes construidos por voladizos compensados, se abandona por los inconvenientes estructurales y funcionales que supone:

- reducción de la capacidad resistente respecto a la obra continua
- mayores deformaciones por fluencia, con las consecuentes pérdidas de pretensado y rotaciones adicionales en la rótula, que pueden llegar a inutilizar la junta de dilatación
- exige empotramiento permanente en pilas
- los vanos laterales no suelen tener la longitud suficiente para poder prescindir de dispositivos contra el levantamiento en estribos
- la articulación es un elemento singular dentro de la estructura que compromete su durabilidad; su diseño y ejecución son delicados y su funcionamiento no siempre es correcto
- incomodidad para los usuarios
- mantenimiento específico y costoso si esta debe sustituirse por deformaciones excesivas

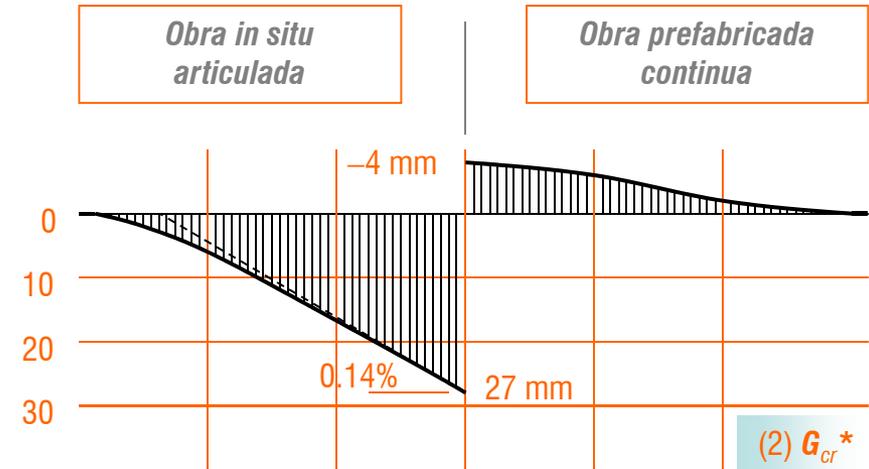
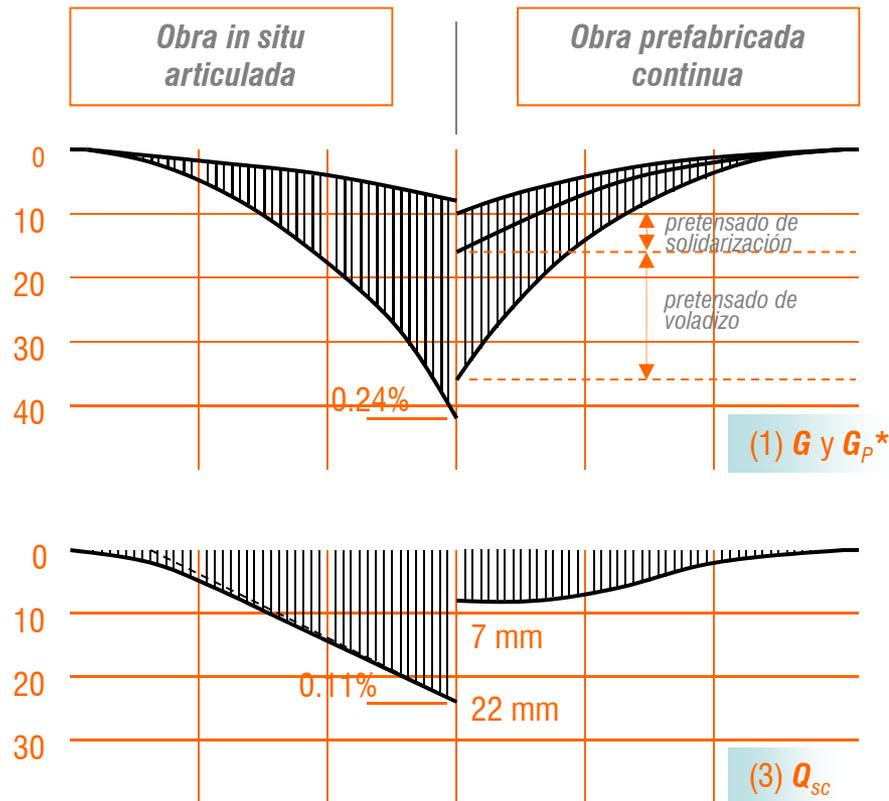
<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

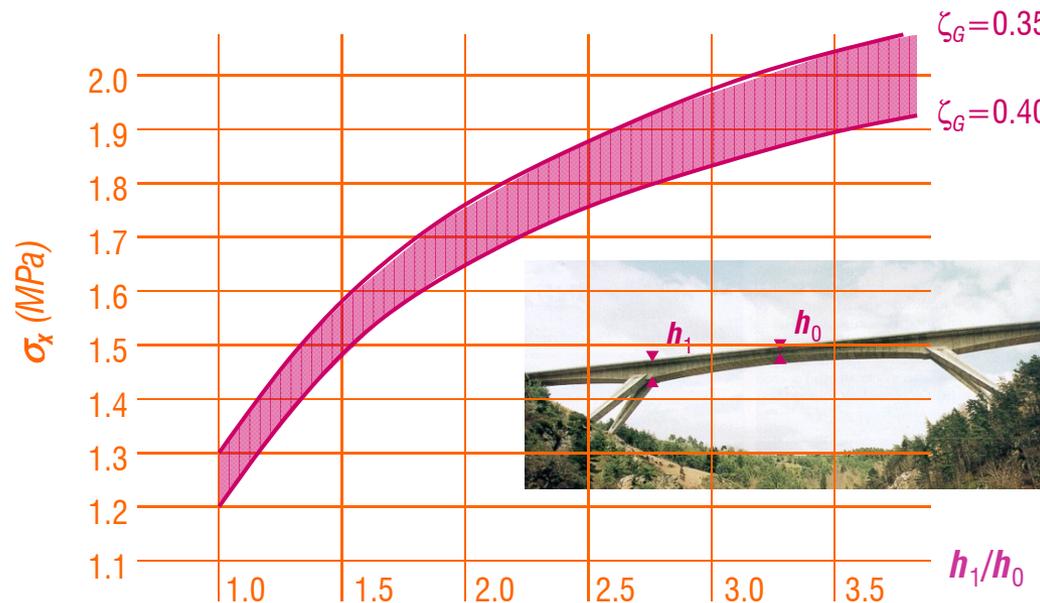


*Puente de Choisy-le-Roi*: primer puente de dovelas prefabricadas encoladas. Comparación de las deformaciones registradas por el tablero:

- (1) Bajo peso propio y pretensado
- (2) Diferidas (notable efecto del pretensado de solidarización)
- (3) Bajo sobrecargas

## 04 Diseño de tableros de hormigón

□ *Esfuerzos térmicos y por redistribución de la fluencia.* Genéricamente, se puede concluir que los gradientes térmicos y la fluencia ven su efecto atenuado cuando se aumenta  $h_0$  en **tableros continuos** de hormigón pretensado, además de necesitar incrementar la armadura activa de solidarización (~10% según Mathivat)



Variación de la tensión normal  $\sigma_x$  para un gradiente térmico  $\Delta\theta$  de  $5^\circ\text{C}$  ( $\zeta_G = z_G/h_0$ )

<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

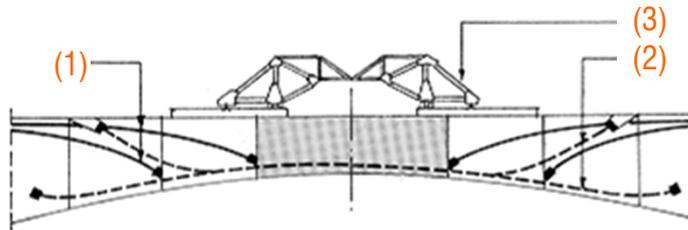
<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



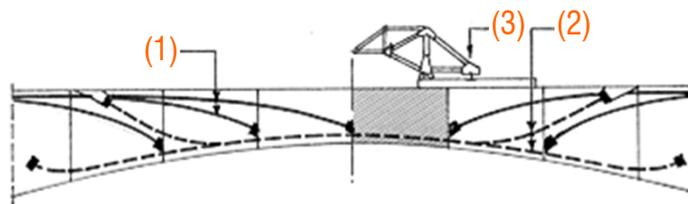
UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

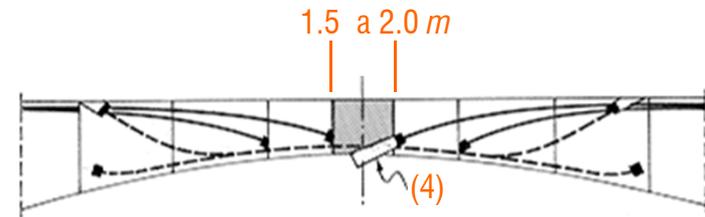
### □ Materialización de la continuidad en tableros ejecutados por voladizos compensados



(a) Dovela de cierre hormigonada después de unir los dos equipos móviles



(b) Dovela de cierre hormigonada con un equipo móvil



(c) Junta de cierre para dovelas hormigonadas in situ

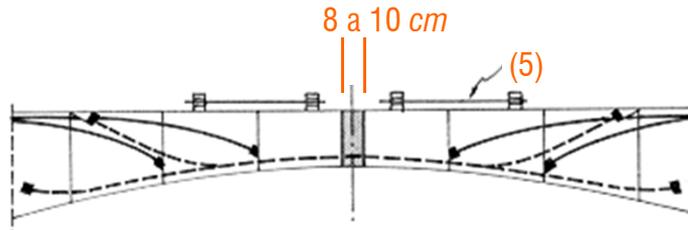
- (1) Cables de voladizo
- (2) Cables de solidarización
- (3) Carro móvil
- (4) Alargamiento del gato de puesta en tensión de los cables

### <4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



## 04 Diseño de tableros de hormigón



(d) Junta de cierre para dovelas prefabricadas

(5) Pretensado provisional

1. AFGC, Bouchon, E. y otros, "Guide des Ponts Poussés", Presses de l'E.N.P.C. (1999)
2. Degenkolb, O.H., "Concrete box girder bridges", ACI monograph N° 10 (1977)
3. Kristek, V., "Theory of box girders", JohnWiley and Sons (1979)
4. Maisel, B.I. y roll, F., "Methods for analysis and design of concrete box beams with side cantilevers", C. & C.A. technical report 42.494 (1974)
5. Mathivat, J., "Construcción de puentes de hormigón pretensado por voladizos sucesivos", Editores Técnicos Asociados (1980)
6. Menn, C., "Prestressed concrete bridges", Birkhäuser (1990)
7. Podolny, W. y Muller, J.M., "Construction and design of prestressed concrete segmental bridges", John Wiley and Sons (1982)
8. Schlaich, J. y Scheef, H., "Concrete box-girder bridges", AIPC/IABSE (1982)
9. SETRA, "Ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs", Ministère des transports DGTI, complément au Bulletin technique N° 7 (1979)
10. SETRA, "Ponts en béton précontraint construits par encorbellements successifs : guide de concéption", Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer (2003)
11. Swann, R.A., "A feature survey of concrete box spine-beam bridges", C. & C.A. technical report 42.469 (1972)
12. Hewson, N.R., "Prestressed concrete bridges: design and construction", Thomas Telford (2003)

### <4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

### <4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>





## 04 Diseño de tableros de hormigón

### D.1 Hormigonado mediante cimbra tradicional

- Solución cara y poco frecuente, aunque asumible en estructuras de *longitud total moderada* con algún vano de al menos 50 m y condiciones favorables de apoyo de la cimbra
- Un ejemplo singular: el *ponte de Waregen*, sobre el río Leie, en Bélgica. Para esta obra ejecutada en dos mitades en las márgenes del río, todos los encofrados se montaron con elementos estándar de la firma PERI



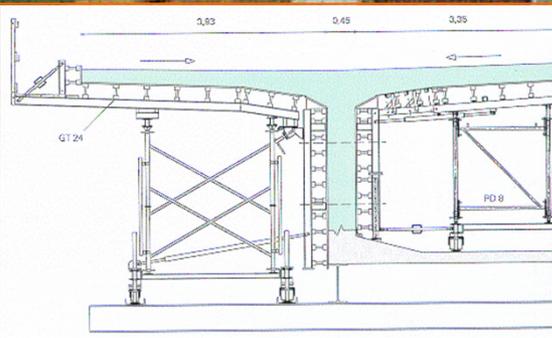
<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪ *Puente de Waregen, aspectos de la ejecución por fases mediante carros de encofrado interior y exterior*

<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### D.2 Construcción vano a vano

- Solución frecuente en viaductos de luces moderadas y gran longitud en la cual el pretensado necesario en cada fase puede ajustarse al requerido en servicio, con el consiguiente **ahorro** respecto a otras técnicas
- Admite canto variable y prefabricación por dovelas, estas siempre celulares
  
- Luces mayores requieren apoyos o atirantamiento provisionales



<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### D.3 Tableros empujados

- Sistema que requiere medios auxiliares de coste razonable y proporciona buenas calidades de ejecución al centralizar todas las operaciones en una zona restringida
- Solución **estructuralmente cara** por las condiciones de sollicitación propias del empuje que requieren una **sección en cajón** con **canto importante y constante** ( $h/L \sim 1/10$ ). Luces superiores a las óptimas ( $\sim 40$  m) requieren apoyos o atirantamiento provisionales



<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón

### D.4 Avance en voladizo

- Las dovelas son siempre celulares, para hacer su manipulación más segura (son más ligeras y rígidas)
- Durante el avance en voladizo, la mayor flexibilidad del tablero ( $L_{ef}=2L$ ) debe compensarse con la rigidez de la sección transversal, de ahí la adopción del cajón

#### direcciones de avance

#### hormigonado

dovelas in situ

dovelas prefabricadas

Una: voladizo **evolutivo**

Dos: voladizos **compensados**



<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

## 04 Diseño de tableros de hormigón



▪Ejemplo de cajón hormigonado in situ en voladizo puro: el *Skye bridge* (Escocia, 1995, 250 m de luz)

<4.3.5 Elementos de proyecto y construcción de tableros en cajón>

<4.3 CONCEPCIÓN DE TABLEROS EN CAJÓN>



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA