

Módulo 2 - Diseño

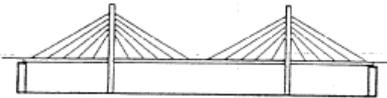
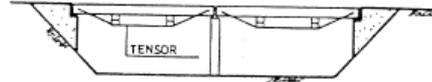
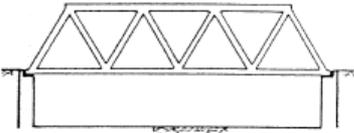
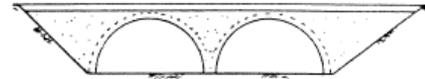
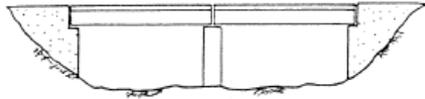
Aspectos de Diseño

Nombre:

Matías Valenzuela

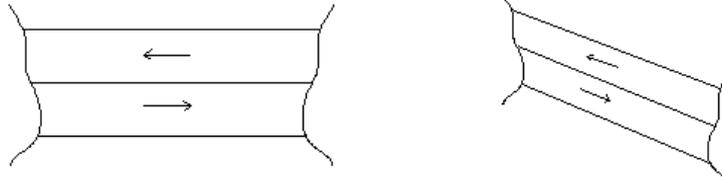
Clasificación

Puentes de tramos simplemente apoyados, continuos o de vigas voladizas (gerber)
Puentes en arco
Puentes apuntalados, en que el tablero actúa como puntal entre estribos,
Puentes aperticados, marcos,
Puentes colgantes, con o sin viga atiesadora
Puentes atirantados



Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo
 - Elementos rectos de una o varias piezas
 - Sistema de apoyo simple y directo a las cimentaciones con libertad de giro en los apoyos (isostática)
 - Teoría y su construcción resultan sencillas.
 - Planta recta o esviada.



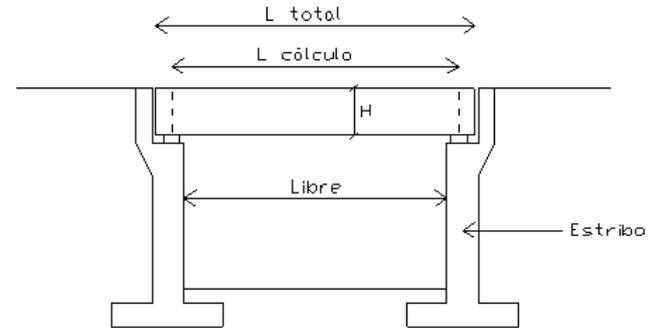
Esfuerzos predominante: flexión resistentes.

Capacidad resistente según geometría de las piezas (define magnitud de las tensiones que se producen en el material):

- Canto de la pieza.
- Momento de inercia de la sección.

Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo
- A mayor luz del puente, mayor el momento a flexión → el canto y el momento de inercia de las piezas deberán crecer.
- Momento flector depende de las cargas actuantes y de la luz.
- Cargas actuantes se pueden dividir en:
 - Directas: peso propio, carga de tránsito, sismo, viento, frenado.
 - Indirectas: temperatura, asentamientos, acciones por pretensado.



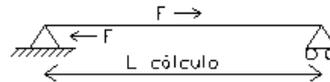
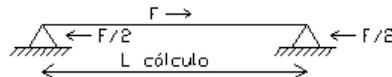
Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo
 - Cargas directas verticales soportadas mediante las reacciones en los apoyos.
 - Frente al viento no tiene mayores inconvenientes.
 - Las acciones directas en sentido longitudinal las controla muy bien.
 - Al ser un puente isostático actúa bien frente al asentamiento.
 - Producto del gradiente térmico la estructura deforma, pero por ser isostática no hay problema.

El problema:

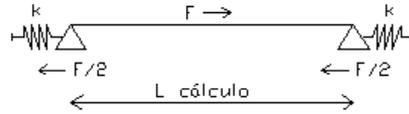
- Fallo por formación de rotula plástica, pues basta con un sólo punto para que el puente colapse.

Para el caso del acortamiento o deformación en el sentido longitudinal este puente no funciona bien ya que tiene los 2 apoyos restringidos, entonces quiere deformar el tablero y no puede, por ende fisura. Esto se soluciona liberando uno de los apoyos.

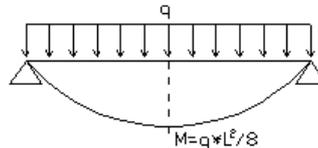


Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo
- Esta tipología se utiliza muy poco, actualmente el uso es mediante apoyos pseudos-elásticos.
- Aparatos de apoyos los cuales están hechos de neopreno zunchado. Se genera un caso intermedio.
- Permitir el movimiento hasta cierto punto, generando esfuerzos menores.



El momento flector en un puente de tramo recto frente a cargas uniformemente distribuidas aumenta con respecto al cuadrado de la luz y es proporcional a dicha carga:



Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo

Por los esfuerzo de flexión no es lógico que este tipo de puentes mantenga el mismo canto en el tablero a lo largo de toda su longitud, ya que presenta variaciones con un máximo en el centro y disminución de los momentos hacia los apoyos.



solución optimiza la estructura frente a los momentos flectores longitudinales, no es una alternativa por su poco valor estético.



Atractiva la alternativa de puente con canto invertido. Problema de pendiente. Excepto peatonal.

Puentes rectos con simple apoyo suele asociarse a un canto constante.

Problema: el canto deberá estar asociado a la resistencia del máximo momento

- Aumentos de las secciones y aumento del peso propio
- Incrementos en los momentos flectores asociados a esta carga
- Reducir aún más las luces aplicables..

Tipología

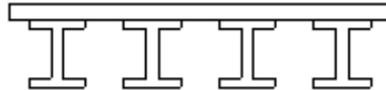
- Puente de tramo recto con simple apoyo

Secciones transversales:

Se busca mediante la sección transversal de las piezas, obtener máximas inercias y mínimos pesos, → mínimas áreas.

a) Tablero de vigas

- La más utilizadas en puentes metálicos y de hormigón
- Se compone de vigas longitudinales (metálicas, hormigón o madera), unidas a través de una losa superior colaborante que hace las veces de plataforma vial.



Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo

Secciones transversales:

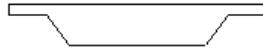
- Riostras o vigas transversales (diafragmas), utilizadas para realizar repartos de esfuerzos entre las vigas longitudinales, permitiendo un trabajo en conjunto de ellas.
- En países de acción sísmica o cargas laterales considerables siguen teniendo importancia. En otros países, como consecuencia de la baja capacidad de reparto de la flexión entre las vigas longitudinales, se ha comenzado a evitar su construcción en favor de un aumento de la capacidad propia a flexión de cada viga longitudinal.
- Vigas longitudinales:
 - En forma de T: viga + losa colaborante → pequeñas luces
 - En forma I: losa superior + sección inferior a la viga → aumenta la inercia del sistema → tableros de simple apoyo con vigas metálicas u hormigón.

Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo

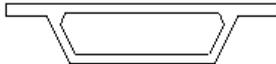
b) Tablero de losa

- Se compone de hormigón armado o pretensado.
- La pieza es la que resiste y es plataforma del puente.
- Variación: losa aligerada interiormente, mediante agujeros cilíndricos u otras formas → reducir considerablemente el peso y manteniendo la inercia de la misma.



c) Tablero de Cajón.

- Aumenta la eficacia resistente de la sección tanto a flexión como a torsión.
- Ventaja disminuir el peso propio de la estructura.
- Aplica para luces mayores (alternativa de vigas celosía o trianguladas)

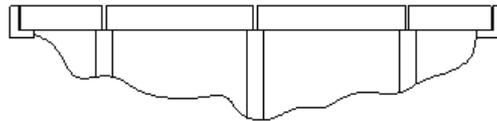


Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo
- La luz del puente de tramo recto es determinante para su diseño

¿Cuál es la luz máxima que se puede realizar?.

- Luces del orden de 30 a 40 metros.
- Máximo de 50 metros con récord actual es el del puente Lille con 68 metros.
- Cubrir luces mayores → Tipología en forma sucesiva hasta obtener el largo deseado, disponiendo apoyos intermedio. Se repite el tablero y las vigas simplemente apoyadas en cada uno de los vanos, volviéndolos independientes.
- Solución muy frecuente en Chile.
- No la más conveniente por una serie de problemas.

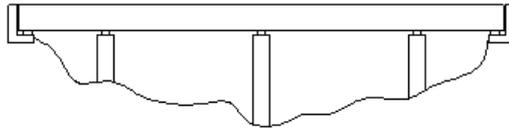


Tipologías

- Puente de tramo recto con simple apoyo

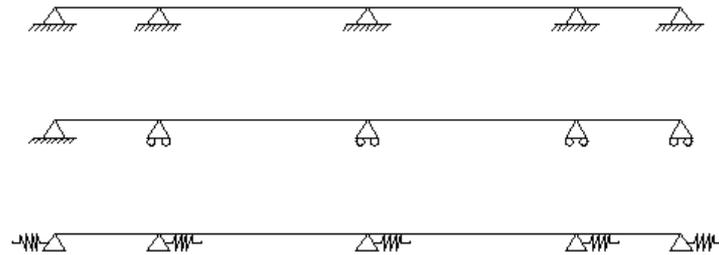
¿Qué problema tiene esta solución?

- Principal problema: juntas de calzada
 - Se incrementan al aumentar el largo del puente.
 - Discontinuidad → problema de funcionalidad → punto débil
 - Problemas de durabilidad.
- Puente de tramo recto continuo.
 - Viga continua de punta a punta.
 - Viga apoyada en varios puntos.
 - Sistema hiperestático.
 - Soluciona el problema de continuidad

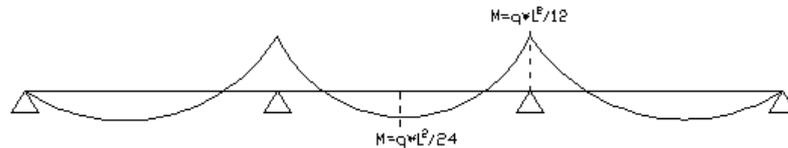


Tipologías

- Puente de tramo recto continuo.
- Sistema de apoyos: evitar todos fijos por acumulación de esfuerzo.



- Ventaja del esquema estático: Disminución de los esfuerzos positivos en los vanos, ocasionando momentos negativos en los apoyos, siendo la amplitud total de estos momentos muy similar al caso isostático.



Tipologías

- Puente de tramo recto continuo.

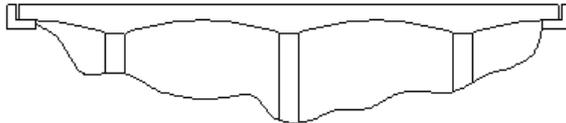
Reducción momento: - Menores secciones a lo largo del puente.
 - Estructura más liviana.
 - Luces mayores.

Problema: cálculo más complicado (estructura hiperestática).

Sección transversal se utilizan preferentemente:

- Losas.
- Cajón.
- Vigas, especialmente de hormigón.
- Sección con canto variable.

Vigas metálicas y de madera (tramos isostáticos).



Tipologías

- Puente de tramo recto continuo.

Canto Variable (diseño):

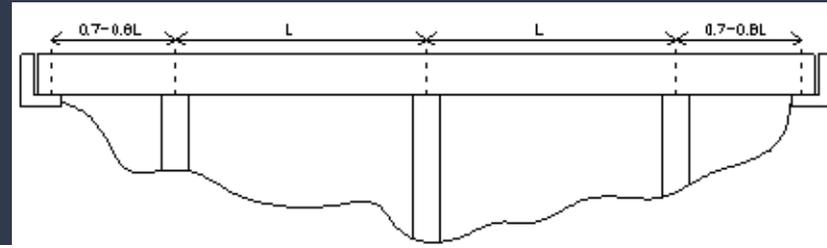
- Magnitudes menores en los sectores de vanos y mayor en los apoyos.
- Transición curva o acartelada.
- Tracciones máximas en la cara superior de los apoyos y en la cara inferior de los vanos (magnitud menor).

- El canto en el apoyo y en el vano depende de:
 - Sección transversal.
 - Método constructivo.
- Punto en el que se anulen los momentos flectores. Disminuye el canto desde los apoyos hacia el vano, alcanzando su mínimo en el centro de vano.

Consecuencias de su uso:

- a) Mayor sección en el apoyo permitiendo resistir mejor el momento negativo.
- b) Se obtiene un valor estético adicional.
- c) Dificultad de ejecución en el proceso constructivo.

Tipologías



- Puente de tramo recto continuo.

Diseño de vanos:

- Longitudes variables entre los casos externos y central.
- Vanos intermedios con una longitud L y los vanos externos entre $0,7-0,8 L$.
- No se produce una compensación de los momentos al llegar a los apoyos de acceso.

Ventaja estructural:

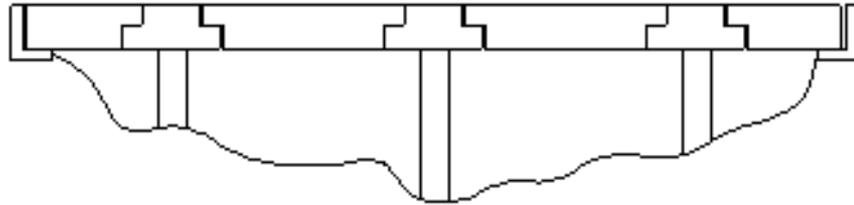
- Si una sección falla, el resto de las secciones son capaces de resistir
- Evita colapso total de la estructura.

Desventajas:

- Acciones indirectas.
- Asentamiento importante (hiperestaticidad) se generan esfuerzos en tablero.
- La variación de temperatura produce un momento positivo en los apoyos.
- Deformaciones longitudinales y acciones de frenado sin problemas.

Tipologías

- Puente tipo Gerber o Cantilever
 - Patentado por Heinrich Gerber.
 - Solución a las dificultades del cálculo hiperestático de los puentes continuo.
 - Consiste en una viga hiperestática.
 - Colocan rótulas o articulaciones a modo de convertirla en isostática → serie de vigas simplemente apoyadas.
 - Apoyos se ubican en ménsulas en las que descansan las vigas siguientes colocando rótulas en las juntas a media madera.

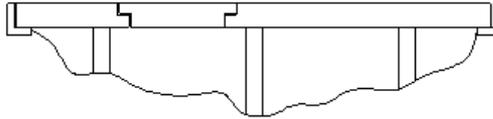


Tipologías

- Puente tipo Gerber o Cantilever

Ventajas:

- Estáticamente, es semejante a la ley de momentos flectores de las vigas continuas.
- Como los isostáticos, a estos puentes no los afectan las deformaciones del terreno en que se apoyan.
- Si se fijan los apoyos principales y se hacen móviles las articulaciones, restringe las deformaciones por temperatura.
- Aplicación cuando no es posible realizar una pila de apoyo



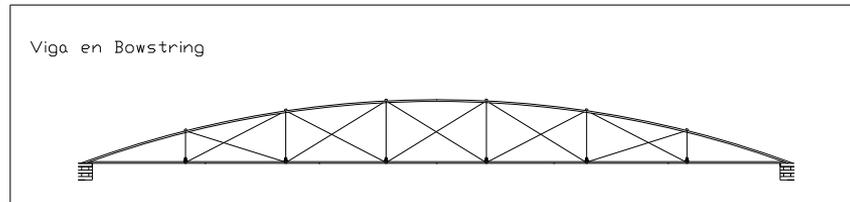
Problema:

- Materialización de las articulaciones.
- Mantenimiento y durabilidad de la articulación.

.

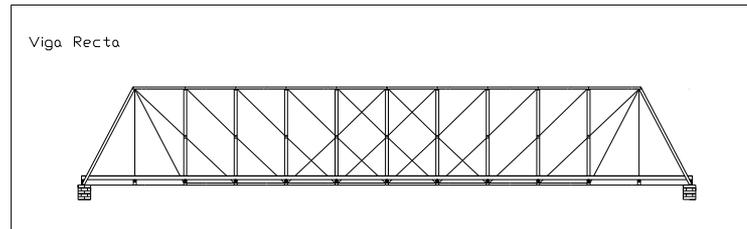
Tipologías

- Puente Viga Triangular
 - A mediados del siglo XX los puentes metálicos con vigas de alma llena se restringieron a pequeñas luces.
 - Reemplazo por las vigas trianguladas metálicas a puentes de gran envergadura.
- a) Vigas Bowstring:
 - La primera en aparecer.
 - Patente realizada por Squire Whipple
 - Tipo de viga semejante a arcos superiores.
 - Consiste en barras montantes verticales espaciadas regularmente y barras diagonales dispuestas entre ellas.



Tipologías

- Puente Viga Triangular
 - b) Viga Whipple: conformada por montantes de fundición y diagonales de barras.
 - c) Vigas Pratt (Thomas & Caleb Pratt): consisten en montantes y diagonales en cruz de San Andrés, donde estas últimas resisten tracciones y los montantes compresiones.
 - Como las vigas montantes son cortas y trabajan a compresión presentan menores problemas de pandeo.
 - d) Celosías tipo Howe (William Howe): se conserva la estructuración de las Pratt, pero las compresiones son resistidas por las diagonales.



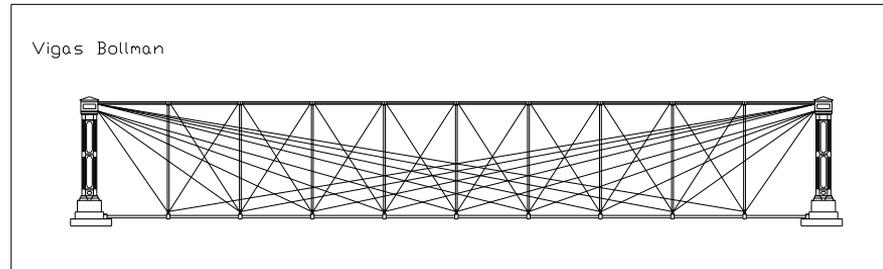
Tipologías

- Puente Viga Triangular

e) Viga Warren o Neville (James Warren): triangulación formada por dos cordones principales y barras inclinadas simétricamente sin cruces entre sí.

- Este tipo de viga es la más utilizada y difundida. En algunos casos se le añaden montadores verticales que reducen la luz del cordón, sirviendo como apoyos a las cargas móviles.

f) Vigas Bollman (Wendel Bollman): viga Pratt a la que se le superponen barras atirantas a la base de los montantes, ancladas a los montantes de los extremos.

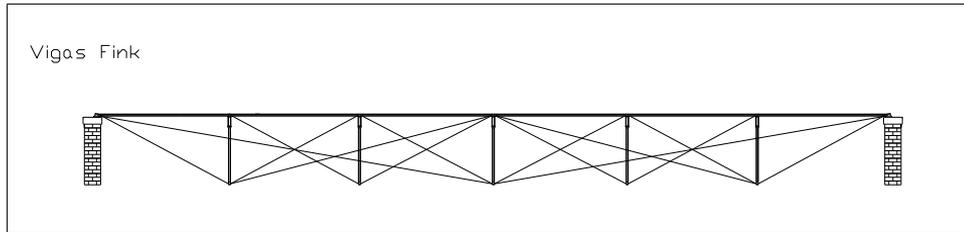


Tipologías

- Puente Viga Triangular

g) Viga Fink (Albert Fink): subdivisiones de vanos, donde se atirantan: el montante central desde los extremos; los montantes a $1/4$ de luz desde el centro y los extremos; los montantes a $1/8$ de luz desde $1/4$ de luz y los extremos; y los montantes a $3/8$ de luz desde el centro y $1/4$ de luz.

En ambos casos (Bollman y Fink), lo que se realiza es atirantar los extremos inferiores de los montantes, permitiendo en algunos casos hacer desaparecer el cordón inferior de las vigas.

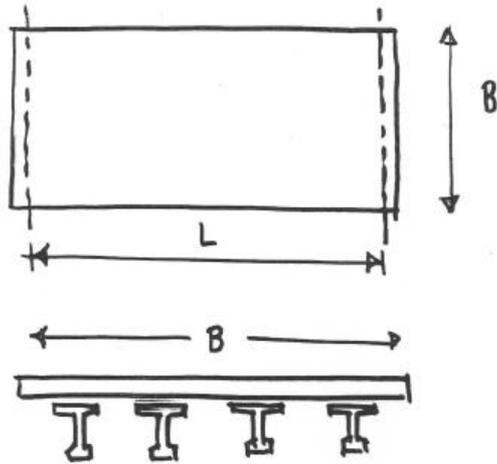


Tablero de Vigas

A dark blue diagonal gradient bar that starts from the bottom left corner and extends towards the top right corner, covering the lower half of the page.

Tablero de vigas prefabricadas.

Aplicabilidad $L \leq 40$ metros (montaje)



c) Vigas

En T o I
En U o V



Clasificación:

a) Prefabricación

Taller u Obra

Proceso Industrial; Transporte = distancia
Amortización encofrado
Nº de viga (postesada mín 40-80)

b) Separación



Viga a tope

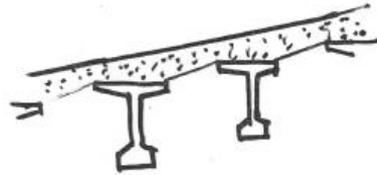
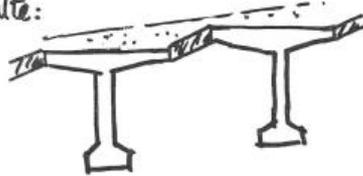
Viga separada (Losa superior o adosada)



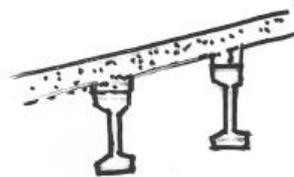
Tablero de vigas prefabricadas

Criterios de elección tipo de viga (Separación).

peralte:

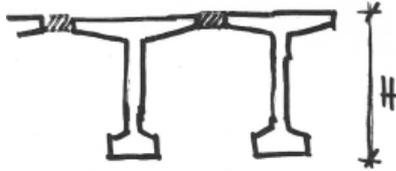


bombeo: $\leq 4\%$

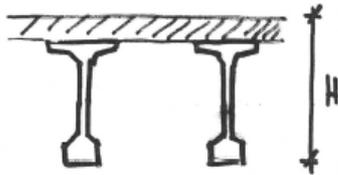


Tablero de vigas prefabricadas

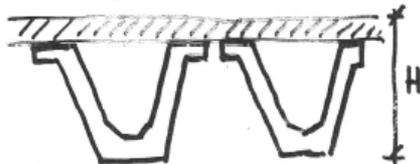
Criterios de elección tipo de viga (Separación).



Mal acoplamiento al peralte
Mayor eficiencia del pretensado
Menor canto
Puede pasar el lanzavigas.

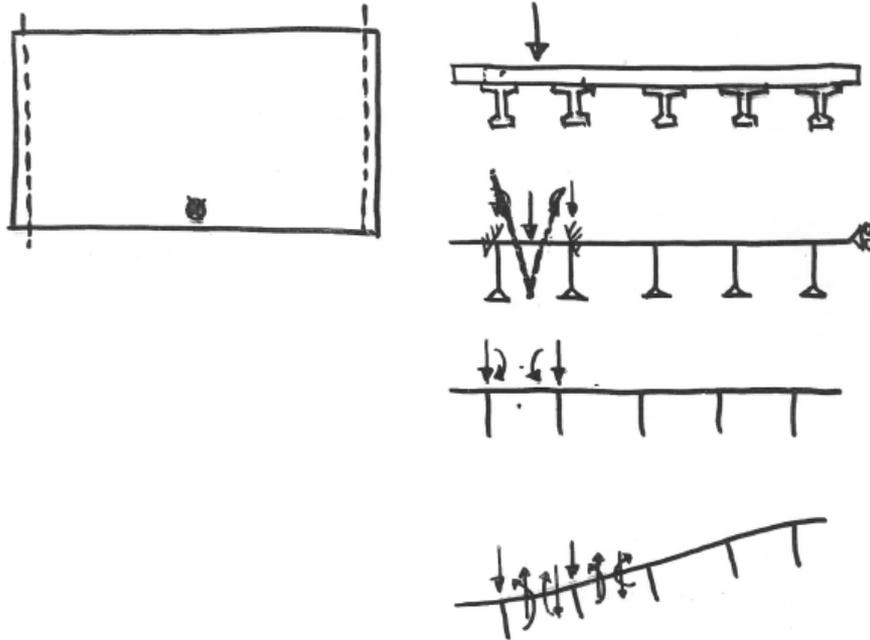


Se acopla bien al peralte
Menor peso al montaje
Mayor canto y talón
Se debe hormigonar la losa para seguir construcción



Se acopla bien al peralte
Mejor reparto transversal frente a carga excéntrica
Mayor gasto por encofrado
Doble volumen de hormigón del alma
Buen aspecto (estética)

Comportamiento Estructural



Flexión Transversal
Local

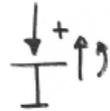
Esfuerzos en tablero

Flexión Longitudinal
Momento Torsor
Flexión Transversal
General

Comportamiento Estructural

Estructura Longitudinal (Viga)

Flexión Longitudinal
Torsión



$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$$

Estructura Transversal (Losa)

Flexión Transversal Local
Torsión

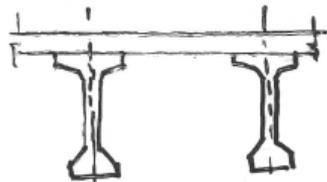


+ Flexión Transversal General
(desnivelación)

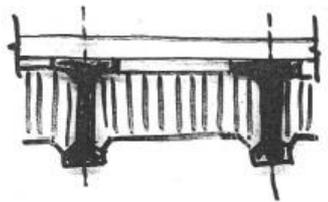


Flexión Transversal Total = Flexión Transversal Local + Flexión Transversal General

Comportamiento Estructural



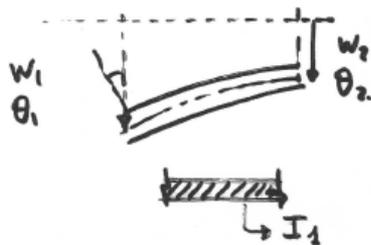
Losa soportada: FTG + FTL



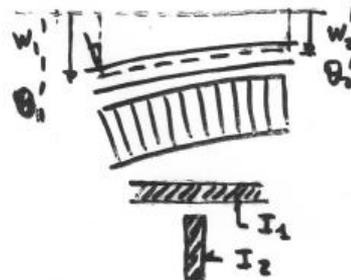
Losa soportada:
Diafragma soportado:

FTL
FTG

$$m_1 = \frac{4EI_1}{l} \theta_1 + \frac{2EI_1}{l} \theta_2 + \frac{6EI_1}{l^2} (w_1 - w_2)$$



$$M_{LOSA} = M_1$$



$$m_1 \approx \frac{I_1}{I_1 + I_2} m_{1+2} \approx 0$$

$$m_2 \approx \frac{I_2}{I_1 + I_2} m_{1+2} \approx m_{1+2}$$

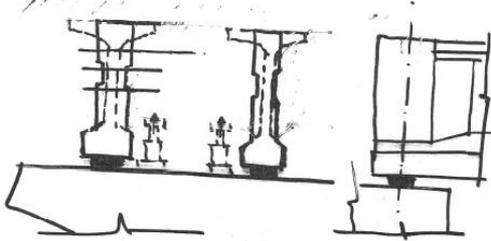
Comportamiento Estructural

Obliga: + N° de vigas
+ Canto de viga

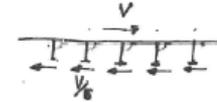
Obliga: Mayor esfuerzo constructivo
por encofrado diafragma

Colocación de diafragmas:

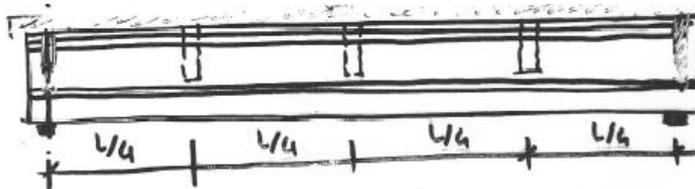
En apoyo:



Torsión
Carga horizontal
Reparto transversal
Carga mantenimiento



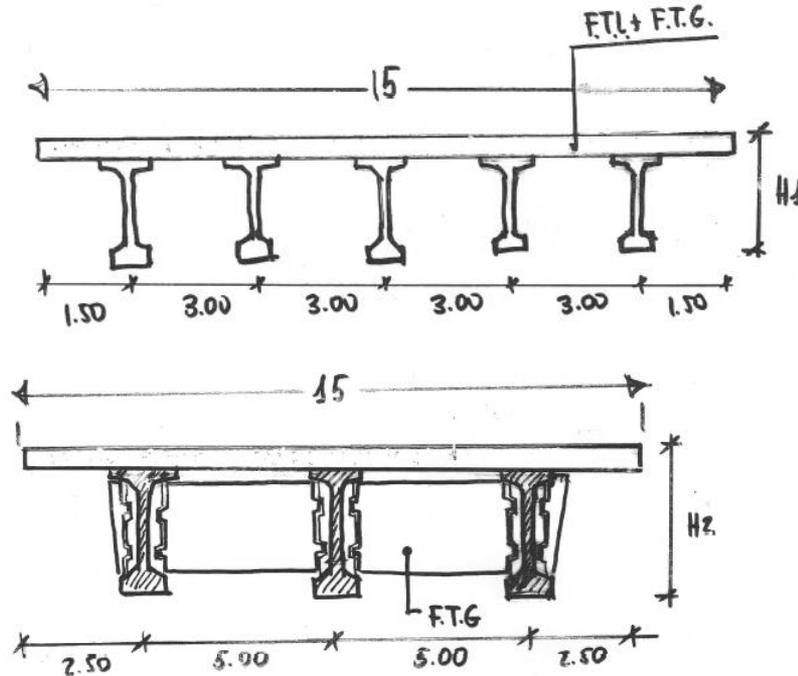
En centro de vano:



Cargas centradas
Cargas excéntricas = ?
FTL y FTG separadas
Control de deformaciones

Comportamiento Estructural

Alternativas de estructuración:

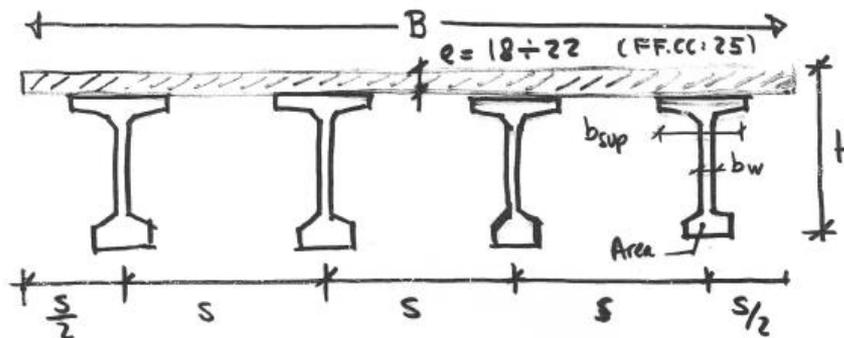


Ahorro por no fabricación de Diafragmas.

¿En apoyo es alternativa tope? En Chile NO!!

Ahorro del 40% en vigas

Diseño Preliminar tablero y vigas



Distanciamiento (S)

Prefabricado en taller	1 – 2,5 metros
Prefabricado en obra	1 – 3,5 metros
Chile	2,8 – 3,2 metros

Relación canto/luz (H/L)

H/L: 1/15 – 1/19



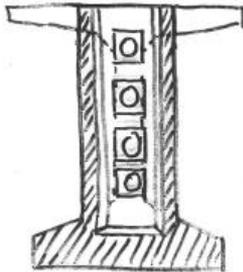
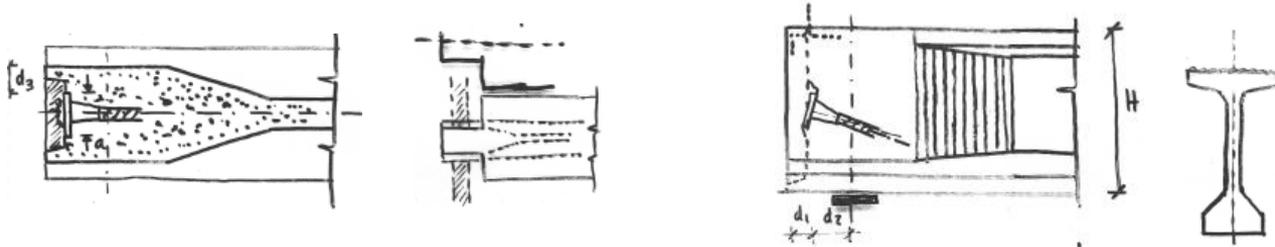
($\frac{1}{18}$)



($\frac{1}{17}$)

Diseño Preliminar tablero y vigas

Diseño Longitudinal: normalmente $H = Cte.$



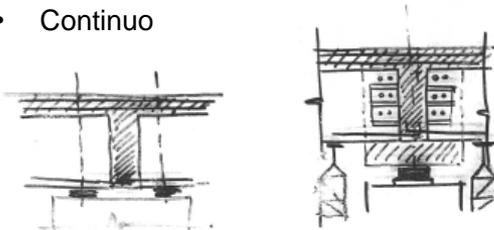
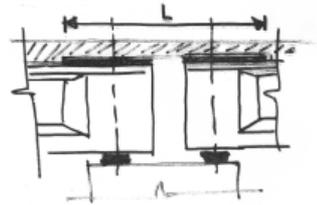
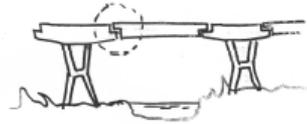
Sector de Anclaje:

Superficie suficiente para posición de placas
Situación plano de anclaje: $d_2 \geq H/6$, y no menor a 30
Si el alma superior no se lleva hasta atrás, permite
hormigonar bien el diafragma del apoyo.

Diseño Preliminar tablero y vigas

Tipologías Longitudinales

- Simple apoyo
- Gerber
- Semi-Continuo
- Continuo



Cortante – Fricción:
Cambio de esquema estático

Diseño Preliminar tablero y vigas

Trazado en perfil.



Cota de la rasante:

Gran altura sobre el Tránsito inferior

Poca altura: Río:

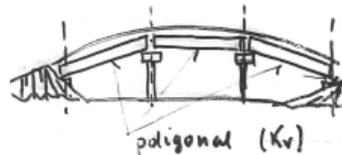
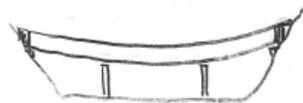
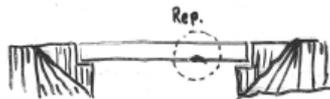
Máxima avenida

Mar: Pleamar

Tránsito: Gálibo vertical

Puente de Carretera
Pasarela

Gálibo vertical = 5 metros.
= 5,5 metro



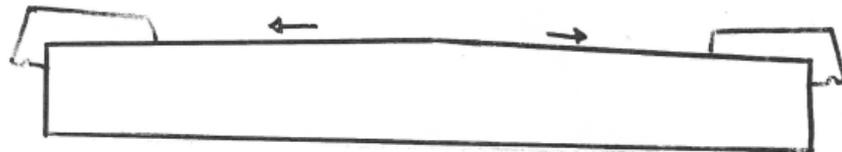
¿Aplicar Resguardo?

Exceso de altura = daños
Transporte especial
Volumen terraplén
(expropiaciones)

Tablero Losa

A dark blue diagonal gradient bar that starts from the bottom left corner and extends towards the top right corner, covering the lower half of the page.

Tablero Losa



Aplicabilidad:

Puente carretera:

H.A

$L \leq 15$ metros

H.P

$L \leq 45$ metros (aligerada, continua, canto

variable)

Ventajas:

Estructural: Rigidez Torsional y Flexión

Durabilidad, Seguridad (hiperestático)

Construcción:

In-Situ, se acoplan bien a geometrías difíciles.
Encofrado fácil.

Otros:

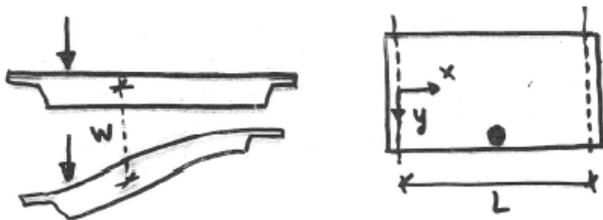
Funcional (Supresión de Juntas Constructivas)

Estética agradable

Libertad de disposición de apoyos.

Comportamiento Estructural

Inercia distribuida:



Isótropa:

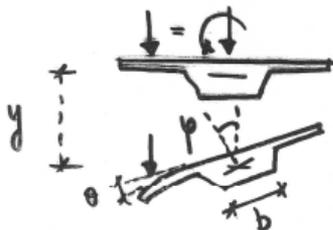
$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x,y)}{D}$$

Ortótro

$$p(x,y) = D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4}$$

F. long. Torsión F. Transv

Inercia Concentrada:



$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = p(x)$$

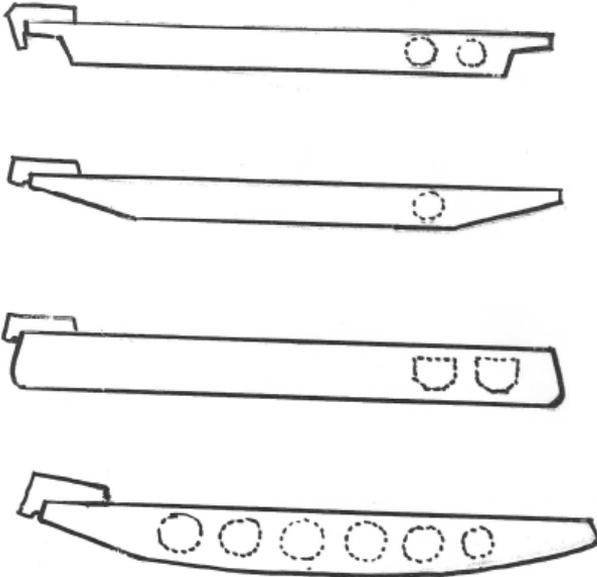
$$GJ \frac{d^2 \varphi}{dx^2} = \gamma(x)$$

$$FT: \nabla^4 w = \frac{p}{D} \text{ (Abacos)}$$

$$b/L < 1/6$$

Tipología Sección Transversal

Inercia Distribuida



H = Cte

Macizas $L \leq 25$ metros

Isostático: $H/L = 1/20 - 1/25$

Continua: $H/L = 1/25 - 1/40$

Aligeradas $25 < L < 45$ metros

Isostático: $H/L = 1/20 - 1/25$

Continua: $H/L = 1/25 - 1/33$

H = Variable

Macizas $25 < L < 35$ metros

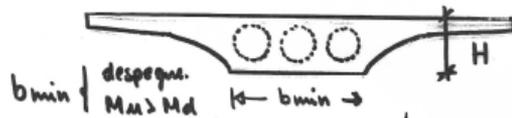
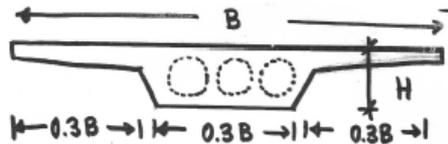
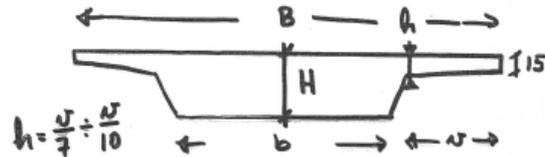
Aligeradas $25 < L < 45$ metros

H/L apoyo = $1/20$

H/L c.l. = $1/40 - (1/50)$

Tipología Sección Transversal

Inercia Concentrada



H = Cte

Macizas $L \leq 30$ metros

Isostático: $H/L = 1/20$

Continua: $H/L = 1/25$

Aligeradas $25 < L < 40$ metros

Continua: $H/L = 1/25 - 1/30$

H = Variable

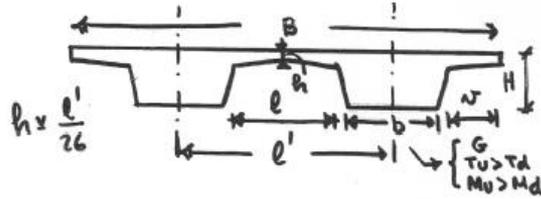
Aligeradas $25 < L < 45$ metros

H/L apoyo = $1/20$

H/L c.l. = $1/40$

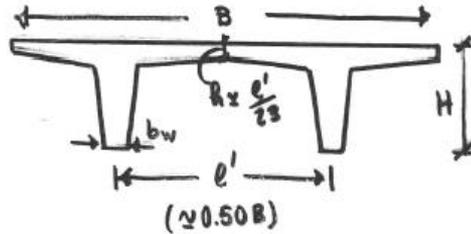
Tipología Sección Transversal

Inercia Concentrada



H = Cte

Continua: $H/L \geq 1/25$



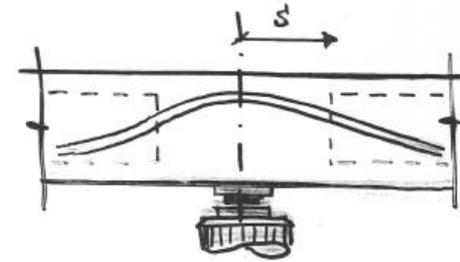
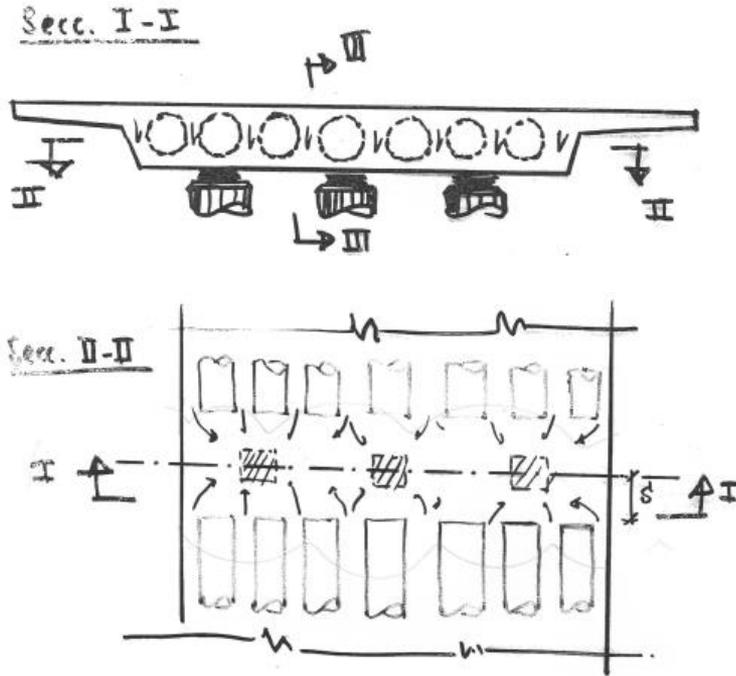
Continua: $H/L = 1/15$

$\left\{ \begin{array}{l} V_u > V_d \\ M_u > M_d \end{array} \right.$

Aligeramientos internos

Materiales:	Táblex sobre cuadernas Nervometal (Fibro cemento) Poliuretano Tubos inflables
Formas:	Circulares Cuadrada con chaflanes redondeados Rectangular con chaflanes redondeados
Aspectos constructivo:	Prueba de ovalización y hormigonado Sujección Juntas
Separación:	Influencia del pretensado.

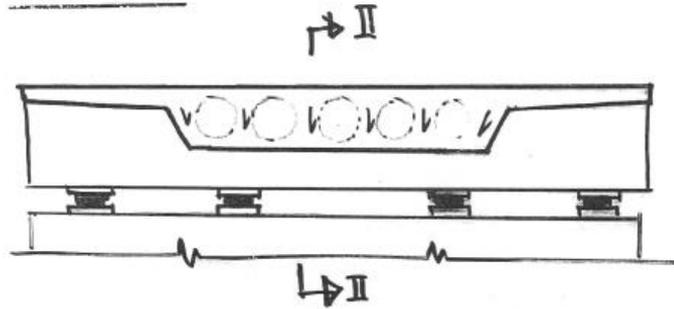
Diagrama de apoyo (sobre pilas)



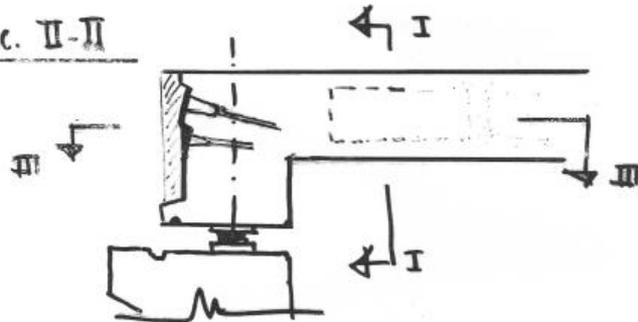
s:
mínimo geométrico.
Resp. estructural travesa.
F.Long: $\begin{cases} V_d = \gamma_f(\text{Vert}) - V_p \leq V_{rd} \\ M_d(<0) < M_{rd} \end{cases}$

Diagrama de apoyo (sobre estribos)

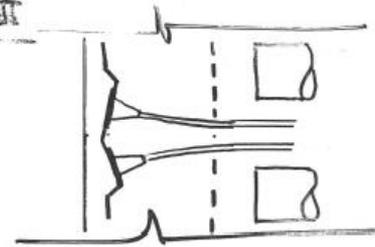
Secc I-I



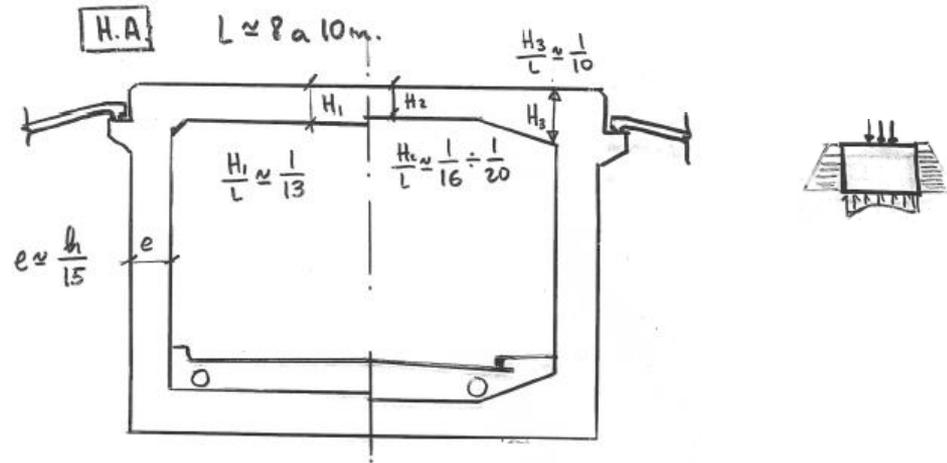
Secc. II-II



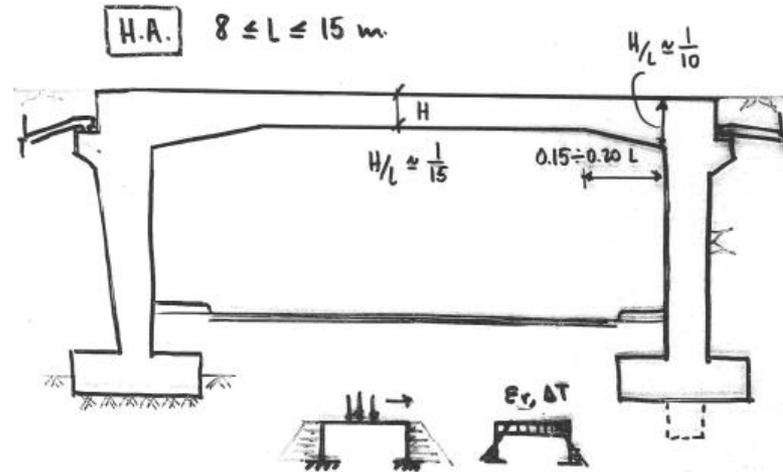
Secc. III-III



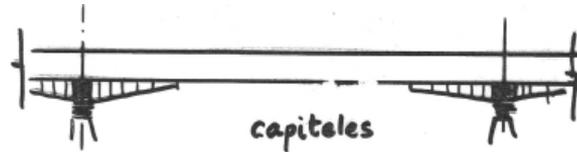
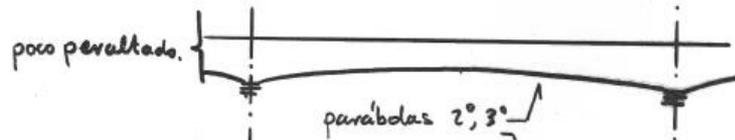
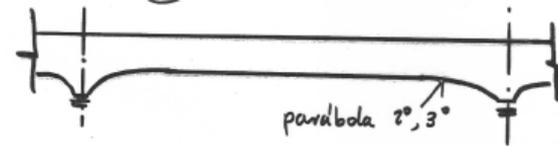
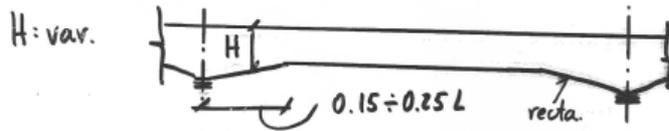
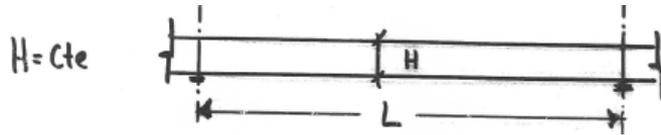
Tipología Longitudinal



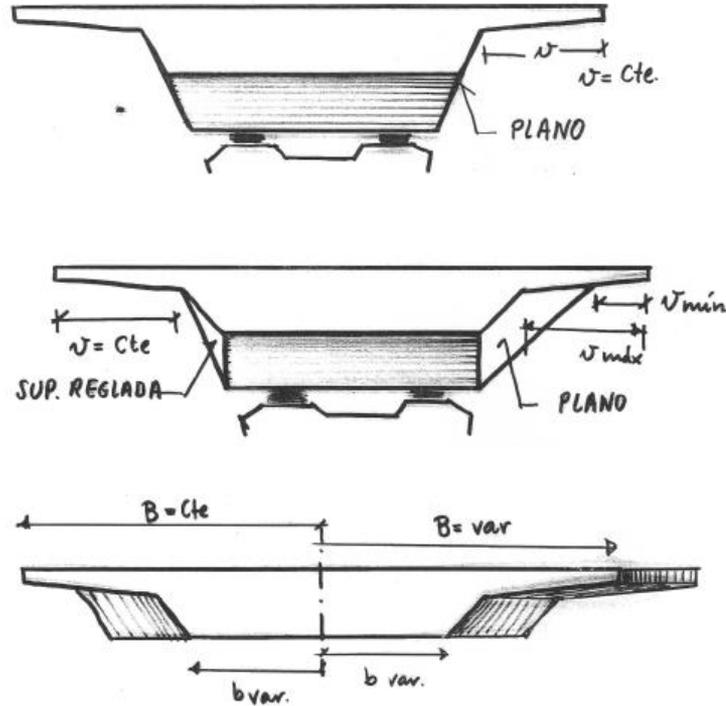
Tipología Longitudinal



Tipología Longitudinal



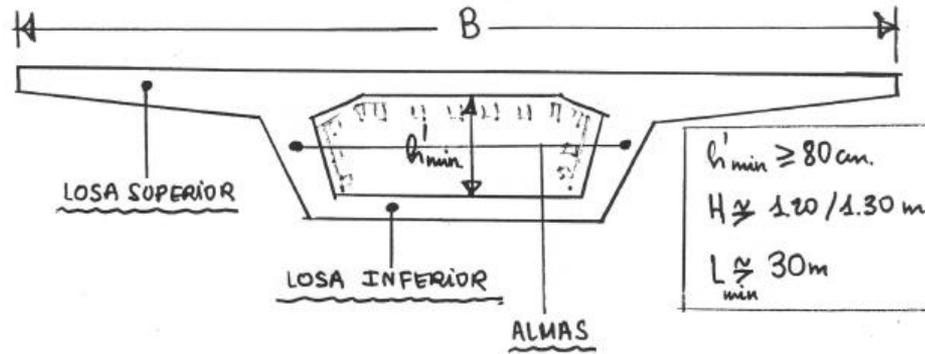
Relación entre Secc. Transversal y Longitudinal



Tablero Cajón

A dark blue diagonal gradient bar that starts from the bottom left corner and extends towards the top right corner, covering the lower half of the page.

Concepción general y aplicabilidad



Losa superior: Materializa la plataforma
Conduce las cargas a las almas
Cabeza de compresión

Losa inferior: Cierra el circuito de torsión
Cabeza de compresión zona M-
Almacena pre-compresiones de pretensado

$$\sigma_{cg_1} + \sigma_{cpi} \leq 0.60 f_c$$

Almas: Lleva las cargas hasta los apoyos por cortante

Concepción general y aplicabilidad

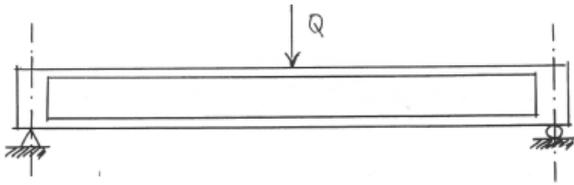
Ventajas:

Eficacia estructural
Ligereza

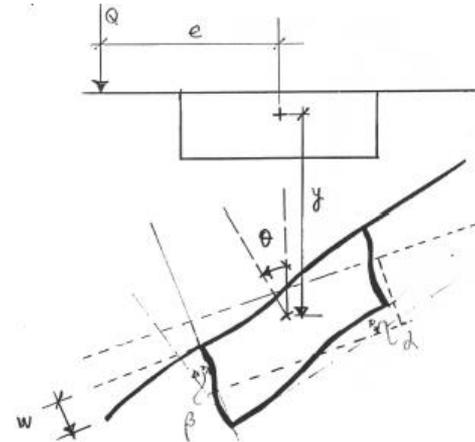
Inconvenientes:

Mayor complejidad constructiva
Hormigonado en fases
Mucho encofrado
Bajo rendimiento equipo de hormigonado

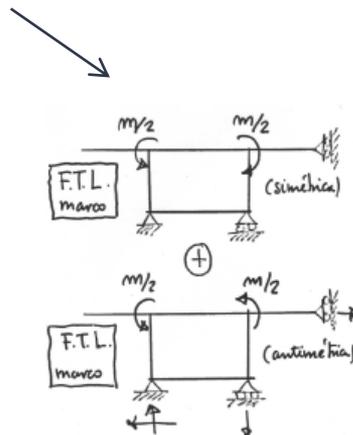
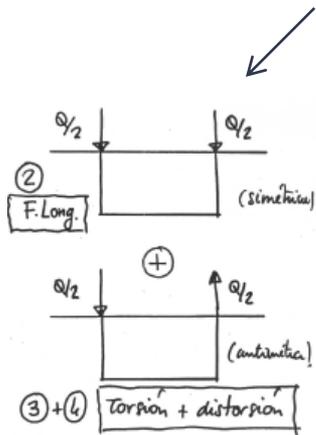
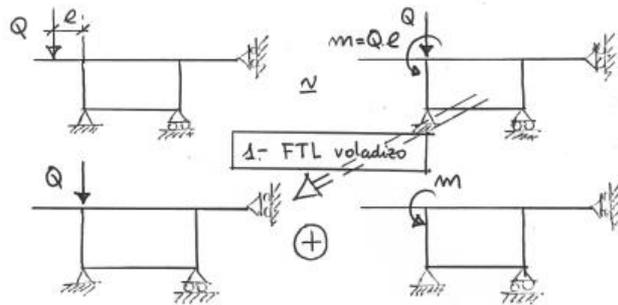
Comportamiento estructural en deformaciones



Movimiento	Resp. estructural
w	Flex. Transv. Local.
y	Flexión Longitudinal.
θ	Torsión
$\alpha + \beta = \gamma$	Distorsión

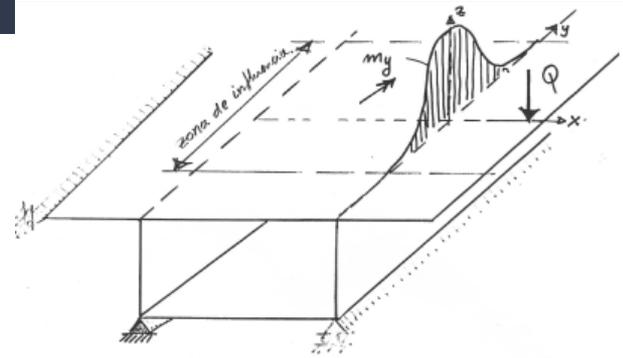


Comportamiento estructural en esfuerzos



Flexión Transversal Local

Cargas concentradas



Comportamiento:

Estructura espacial (Superficie de Influencia)

Análisis:

Estructura 3D (Superficie de influencia)

M.E.F (Flexión de placas)

Entramado espacial.

Estructura 2D (Superficie de influencia); (Solo la placa existe Q)

M.E.F (2D)

Emparrillado plano

Teoría de placas

Superficie de Influencia

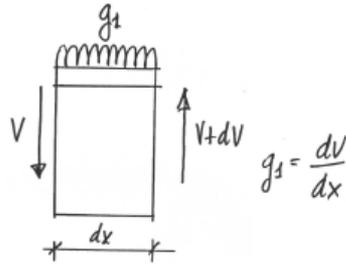
Ábacos de Pücher

Ábacos de Homberg

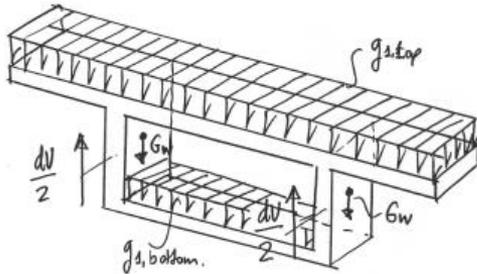
Flexión Transversal Local

Cargas repartidas

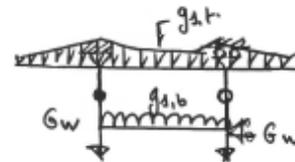
- Equilibrio Longitudinal



- Comportamiento Real

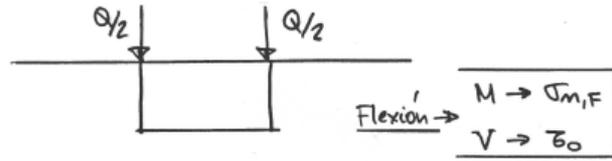


Análisis: Rebanada de 1 metro de longitud modelizada como marco intraslacional.

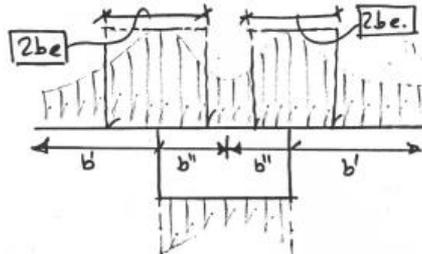


Flexión Longitudinal

Componente simétrica de la carga



Comportamiento: Viga de paredes delgadas



Análisis

Exacto: Estructural espacial

M.E.F. (lamina)
Pórtico espacial
Lámina plegada

Aproximado: Teoría Viga
(Ancho eficaz)

Flexión Longitudinal

Ancho Eficaz

Concepto: Be asociado a:

$$\sigma_{\max, \text{real}} \cdot b_e \cdot h_f$$

Depende de: Ley de cortantes

Tipo de carga Q, q

Esquema estático: isostático – continuo

Del espesor del forjado: h_f

De la relación b/L

Criterios de cuantificación:

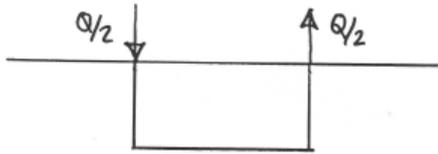
Orden de Magnitud:

$$Q: b_e = L/10$$

$$q: b_e = L/8$$

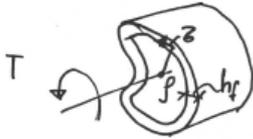
Torsión

Componente antimétrica de la carga



Comportamiento de viga con paredes delgada.

Torsión de St. Venant:



$$T = \oint z h_f ds \cdot p$$

$$dA = \frac{1}{2} p ds$$

$$A = \frac{1}{2} \oint p ds ; \oint p ds = 2A.$$

$$\epsilon = \frac{T}{2A h_f}$$

Fórmula de Bredt

Alabeo



Sección: No alabea (tubo)
 Alabea \rightarrow Mov. Longitudinal $u(z)$
 $u = cte$
 $u(z) = \text{Variable}$, ocurre si $T(z)$ es variable o $u(z)$ impuesto.

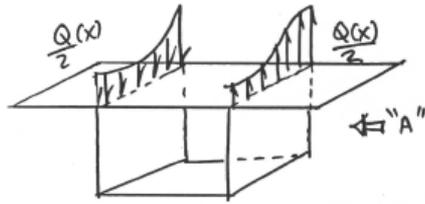
$$\epsilon(z) = \frac{\partial u(z)}{\partial z} = \begin{cases} \phi & (\dot{u} = cte) \\ \neq \phi & \Rightarrow \end{cases}$$

$$\tau_m = \epsilon_e \cdot E$$

$\epsilon(z)$

Distorsión

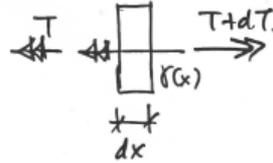
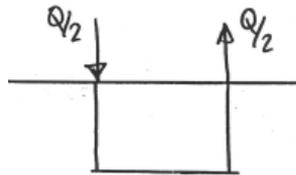
Análisis de la componente antisimétrica



$$\gamma(x) = \frac{Q(x)}{2} \frac{a}{2} + \frac{Q(x)}{2} \frac{a}{2} = \frac{Q(x) a}{2}$$

$$\frac{Q(x) \cdot a}{2} = \frac{dT}{dx} = T'$$

$$(\Delta \bar{\epsilon})_{eq} = T' / 2A_0 e \quad A_0 = a \cdot b \quad (\Delta \bar{\epsilon} \cdot e) = S_T$$



$$-T - \gamma(x) dx + T + dT = \phi$$

$$\gamma(x) = \frac{dT}{dx}$$

Equilibrio longitudinal

Eq en la rebanada:

$$S_{T, \text{top}} = \frac{Q(x) \cdot a/2}{2 \cdot ab} ; r_{T, \text{top}} = S_T \cdot a$$

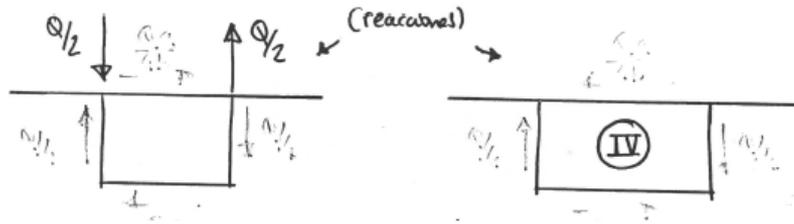
$$r_{T, \text{top}} = \frac{Q(x) \cdot a/2}{2 \cdot ab} \cdot a = \frac{Q(x) \cdot a}{4b}$$

$$S_{T, \text{w}} = \frac{Q(x) \cdot a/2}{2 \cdot ab} ; r_{T, \text{w}} = S_T \cdot b$$

$$r_{T, \text{w}} = \frac{Q(x) \cdot a/2}{2 \cdot ab} \cdot b = \frac{Q(x)}{4}$$

$$r_{T, \text{bot}} = \frac{Q(x) \cdot a/2}{2 \cdot ab} \cdot a = \frac{Q(x) \cdot a}{4b}$$

Distorsión



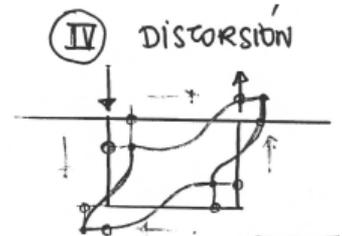
Para estar en equilibrio análisis estado IV:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_v &\equiv \frac{Q}{4} - \frac{Q}{4} = \phi \\ \sum F_H &\equiv -\frac{Qa}{4b} + \frac{Qa}{4b} = \phi \\ \sum M &\equiv \frac{Qa}{4b} \cdot b - \frac{Q}{4} a = \phi \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum F_v &= \phi \\ \sum F_H &= \phi \\ \sum M &= \phi \end{aligned} \right\}$$

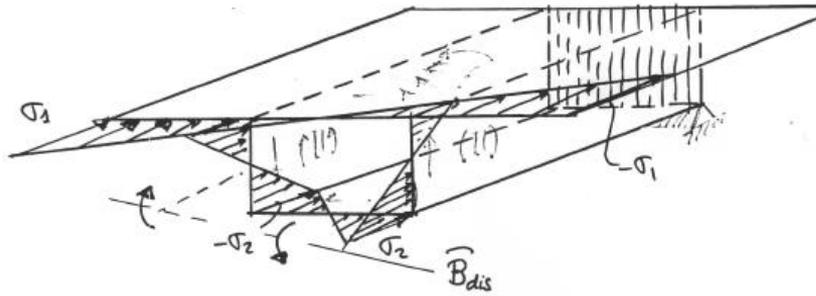
No equilibra ninguna acción exterior, pero se producen movimientos y esfuerzos internos.

Equivale a un momento distorsión mt , con F.T.G

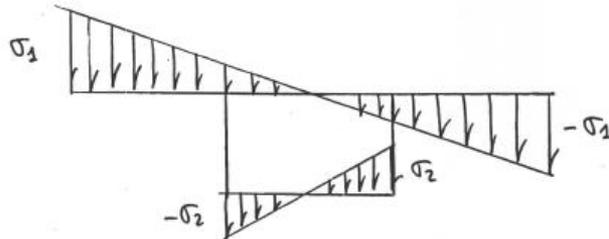


Distorsión

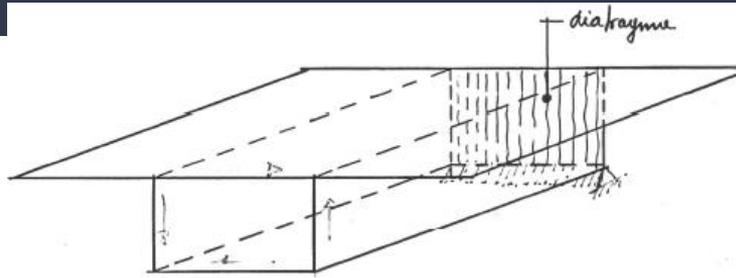
Tensiones normales



$$N \equiv \int \sigma \cdot dA = \phi$$
$$M_x \equiv \int \sigma \cdot y \cdot dA = \phi$$
$$M_y \equiv \int \sigma \cdot x \cdot dx = \phi$$



Diafragma



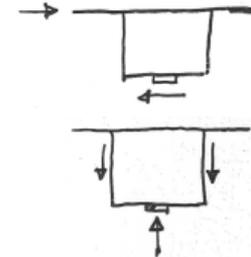
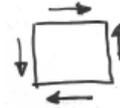
Objetivo: Absorber la diferencia entre el estado asimétrico real y el de torsión

uniforme (St. Venant) → Distorsión.

Sección indistorsionable

Transmitir fuerzas horizontales (F.S. → Aparato de apoyo)

Transmitir fuerzas verticales (Alma → Aparato de apoyo)



Observaciones:

Dejar paso de hombre (Cajón visitable)

Dejar paso encofrado inferior

Dejar paso al equipo de tesado

Resumen de criterios

Respuesta. → Solicitud ↓	Tensiones normales longitudinales σ_n	Tensiones tangenciales τ	Esfuerzos transversales M_t
F.T. Local.	(1)	—	*** M_{FL}
F. Longitudinal.	*** σ_F	*** τ_0	—
Torsión	(2)	*** τ_t	—
Distorsión	* σ_d	—	** M_{FTG}

Criterios de verificación:

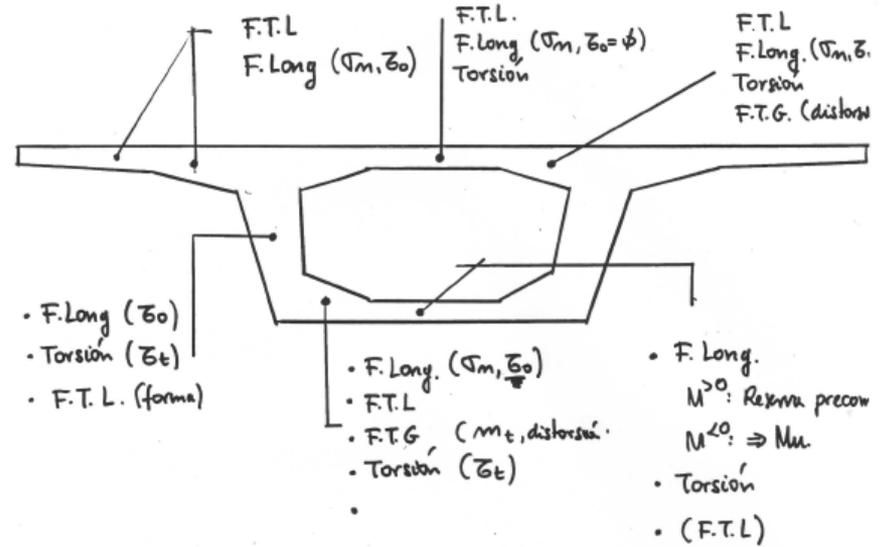
Tensiones normales
Tensiones tangenciales
Momento flector transversal

$$\sigma = \sigma_F + \sigma_d \leq \sigma_{adm.}$$

$$\frac{\sigma_{0ad}}{\sigma_{0adm}} + \frac{\sigma_{td}}{\sigma_{tadm}} \leq 1$$

$$M_{tot} = M_{FTL} + M_{FTG}$$

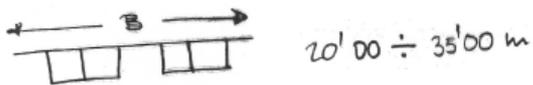
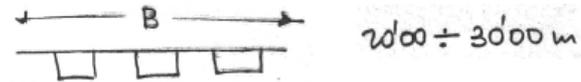
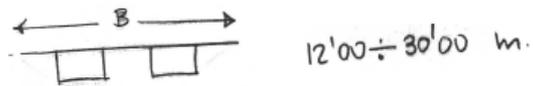
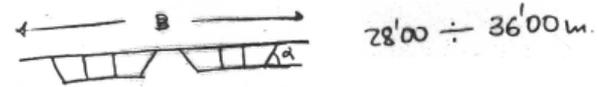
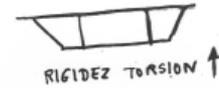
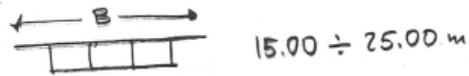
Análisis estructural de elementos



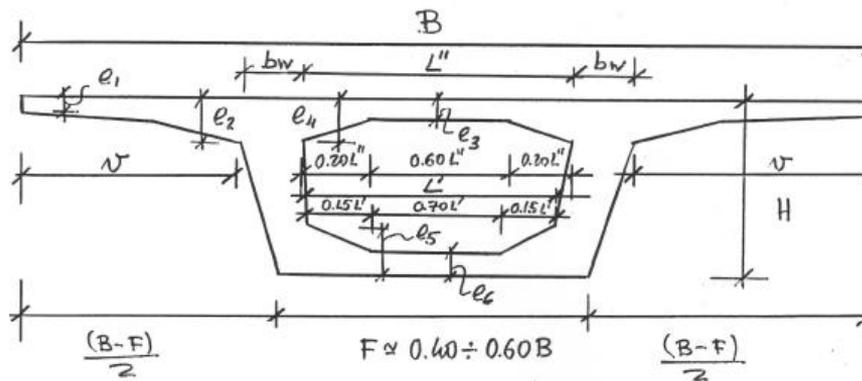
Se debe considerar un h_f (losa) no menor a 15 cm.

Poner atención a espacio para el alojamiento de:
Vainas de pretensado longitudinal
Vainas de pretensado transversal
Anclajes o acopladores

Elección del N° de cajones y células



Orden de magnitud espesores



- $F = 0.40$ a $0.60 B$ (arquitectura pila, área A_0 forción)

- $v \approx 0.40 B$

- $\leq bw / B L/H. \leq bw \approx 170 \div 300$

- $e_1 = \pm 0.15$; (0.24 si $\exists P_{trav}$) - $e_2 \approx v/7$ (H.A); $v/40 \div v/33$ (H.

- $e_3 \approx L''/20 \div L''/25$ - $e_4 \approx 1.5 e_3$

- $e_6 \approx L''/30$ ($M^{\circ 0}$); $\frac{H \cdot (F \cdot e_5)}{12} = 0.0075 \div 0.0025$ ($M^{\circ 0}$) - $e_5 \approx 1.5 e_4$

- $H =$ Función del Procedimiento de Construcción

• Cimbra $H/L \approx 1/25 \div 1/30$

• Vano a vano $H/L \approx 1/18 \div 1/25$.

Requerimientos sísmicos

A dark blue diagonal graphic element that starts from the bottom left corner and extends towards the top right corner, creating a triangular shape in the lower half of the slide.

Why bridges collapse during 2010?

Main Reason for NCS

1. Ground motion accelerations larger than code provisions
2. Inadequate soil classification
3. Seismic Coefficient applied $C = 0.15g$
4. Fundamental period (T_n) was not calculated: Low periods in general
5. No seismic distribution due to a slippage of the rubber bearing
6. Rotation of the deck in skewed bridges
7. Not diaphragm at span edges
8. Not lateral stoppers
9. Not enough seat length
10. Seismic bars did not control the vertical movement (construction?) – twice vertical acceleration recorded

Requerimientos



Nuevos Criterios Sísmicos Para el Diseño de Puentes en Chile

Departamento de Proyectos de Estructuras
División de Ingeniería
Dirección de Vialidad
MOP

Versión 1. Julio 2010

Earthquake 27 de February 2010

Published on July 2010

Elaborated: Project Department
(MOP)

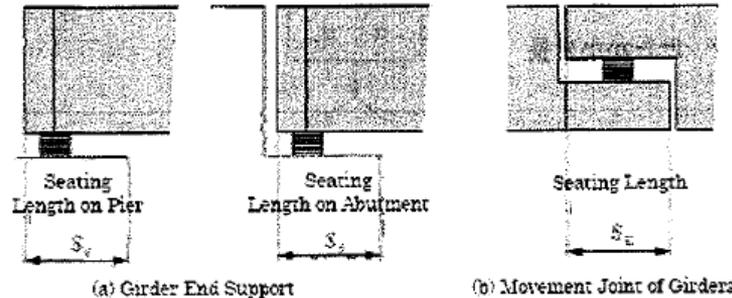
Requerimientos de Diseño

After the el Maule Earthquake, the Bridge Department of Ministry of Public Works, developed an emergency guidelines for bridge design following the Japanese experience and codes.

The minimum length support is increased following the equation:

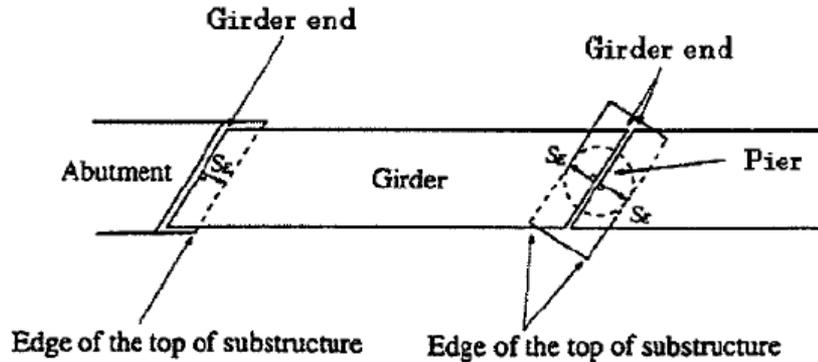
Se: Length support in meters
L: length in meters

$$S_e \geq 0,7 + 0,005 * L$$



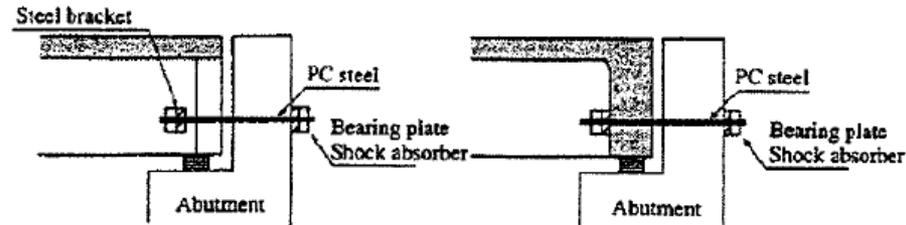
Requerimientos de Diseño

It is possible to reduce this length if the bridge includes seismic stoppers (transverse and longitudinal) and the skew angle is reduced due to the S_e is defined perpendicular to the girder end axis in abutment and piers.



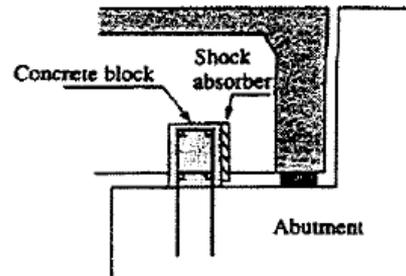
Requerimientos de Diseño

- Longitudinal Stoppers

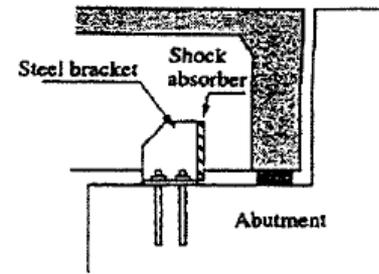


(a) Example of steel superstructure

(b) Example of concrete superstructure



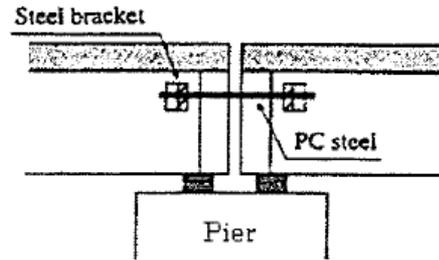
(a) Unseating prevention structure
using concrete block



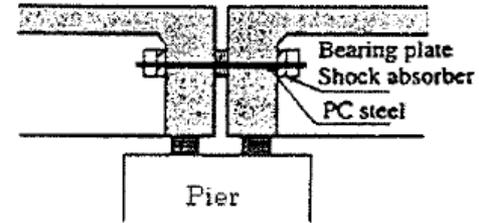
(b) Unseating prevention structure
using steel bracket

Requerimientos de Diseño

- Longitudinal Stoppers



(a) Example of steel superstructure

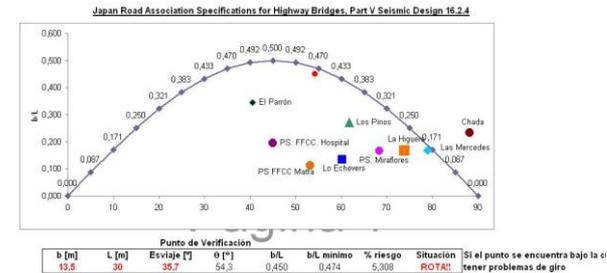
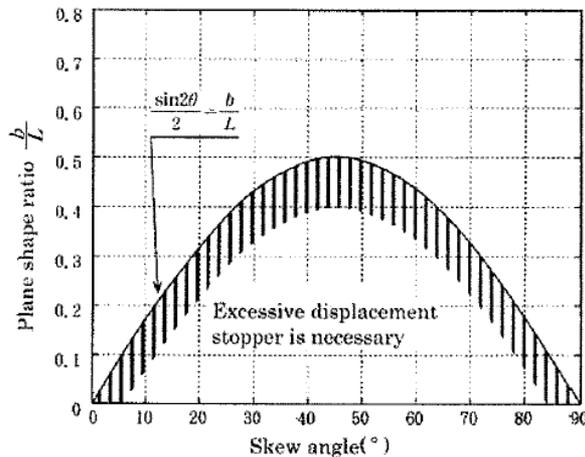


(b) Example of concrete superstructure

Requerimientos de Diseño

- **Skewed bridges**

1. Reduce skew.
2. Rate width (b) vs continuous length of deck (L) depending of degree θ .
3. Great Displacement \rightarrow Stoppers.
4. Response spectrum analysis for 2 or more spans \rightarrow Define deformation at bearing and displacement of deck



Puente	Ruta	b [m]	L [m]	Esviaje [°]	θ [°]	b/L	b/L mínimo	% riesgo	Fund.	Situación	Colapso?
La Higuera	5 Sur	9.10	54.00	16.20	73.80	0.169	0.268	58.982	P	ROTAE	NC
Las Mercedes	5 Sur	9.10	54.00	11.10	78.00	0.189	0.189	12.107	D	ROTAE	NC
PS FFCC Hospital	5 Sur	12.40	47.43	45.90	45.00	0.195	0.500	155.768	P	ROTAE	C
Chada	A. Sur Stgo.	13.00	56.00	1.50	88.10	0.232	0.033	-85.726	P	OK!	NC
Los Pinos	A. Sur Stgo.	16.00	59.00	28.21	61.79	0.271	0.417	53.605	P	ROTAE	C
Lo Echeveres	V. Norte	12.26	92.00	29.85	80.15	0.133	0.432	223.949	D	ROTAE	C
PS Miraflores	V. Norte	12.26	73.80	21.54	89.36	0.166	0.343	106.340	D	ROTAE	C
PS FFCC Malta	Norte-Sur	10.00	88.50	36.86	53.14	0.113	0.480	324.757	D	ROTAE	C
El Parron	M50	10.40	30.10	49.50	40.50	0.346	0.494	42.930	D	ROTAE	C

Requerimientos de Diseño

Code design requirements for Seismic Bars

- Design codes provide different requirements for handling of seismic up-lift forces.
- MC - Section 3.1004.8 -> tension-rod solution -> seismic coefficient $K_v = A_0/2g$ no weight of structure.
- NCS - Section 2.3.3 -> vertical acceleration A_0 according to the seismic coefficient method.
- AASHTO - Section 3.10.9.6 -> Design of Hols Downs Devices related to analysis results.
 - Vertical acceleration component -> load factors on permanent loads
 - Transverse effects (overturning) neglected
 - => Longitudinal effects fully considered only (simultaneous up-lift in all bearings in one axis).

Requerimientos de Diseño

- **Seismic Connections** (Seismic Coefficient Method).

a) Bearing support: Superstructure Load applying $A_o/2$.
Max. Displacement of bearing applying A_o .

b) Expansion joints: Design considering = Max. Displacement of bearing (A_o)
+ ΔT + shrinkage of concrete.

- **Shear modulus of bearing supports.**

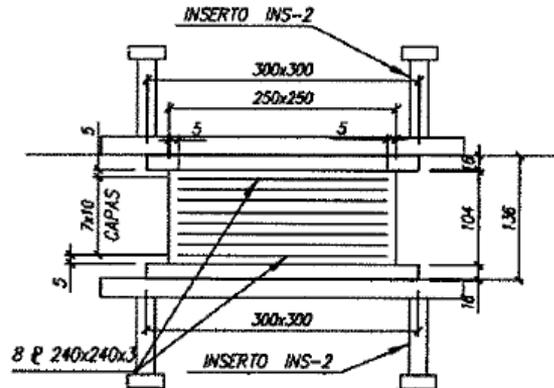
Bridges with 3 or more spans:

$$G = 10 \text{ kg/cm}^2 - 13 \text{ kg/cm}^2$$

Useful in bridges with variable or high piers.

Requerimientos de Diseño

- **Anchorage of bearings**
 - a) Quality test control following Guide Specification for Seismic Isolation Design. At least two bearing or all in critical bridges.
 - b) Natural rubber bearing as seismic isolation considering a damping $\zeta = 10\%$.



Requerimientos de Diseño



Requerimientos de Diseño

- **Diaphragm**
 - a) Transverse diaphragm at edges and mid-span.
 - b) Any seismic zone and type of girder (steel / concrete).
 - c) Interaction diaphragm with stopper (Ao).
 - d) Service load (Truck) check



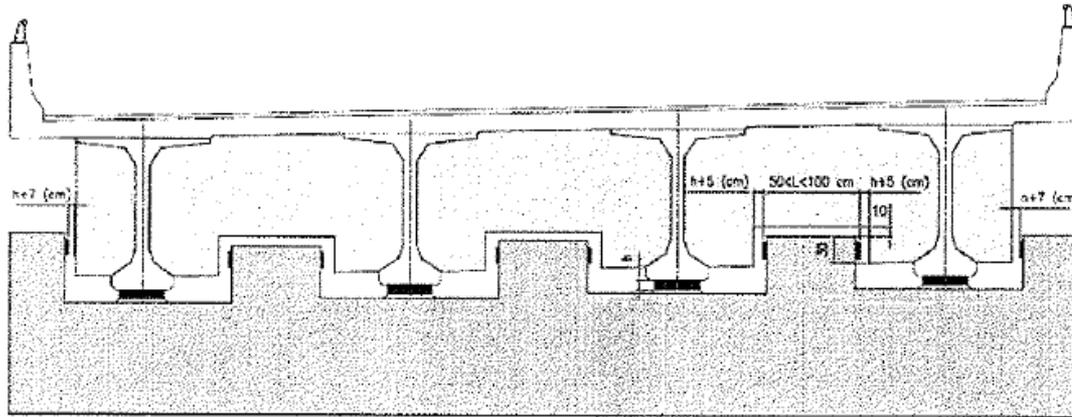
Requerimientos de Diseño



Requerimiento de Diseño

- **Intermediate and external Stoppers**

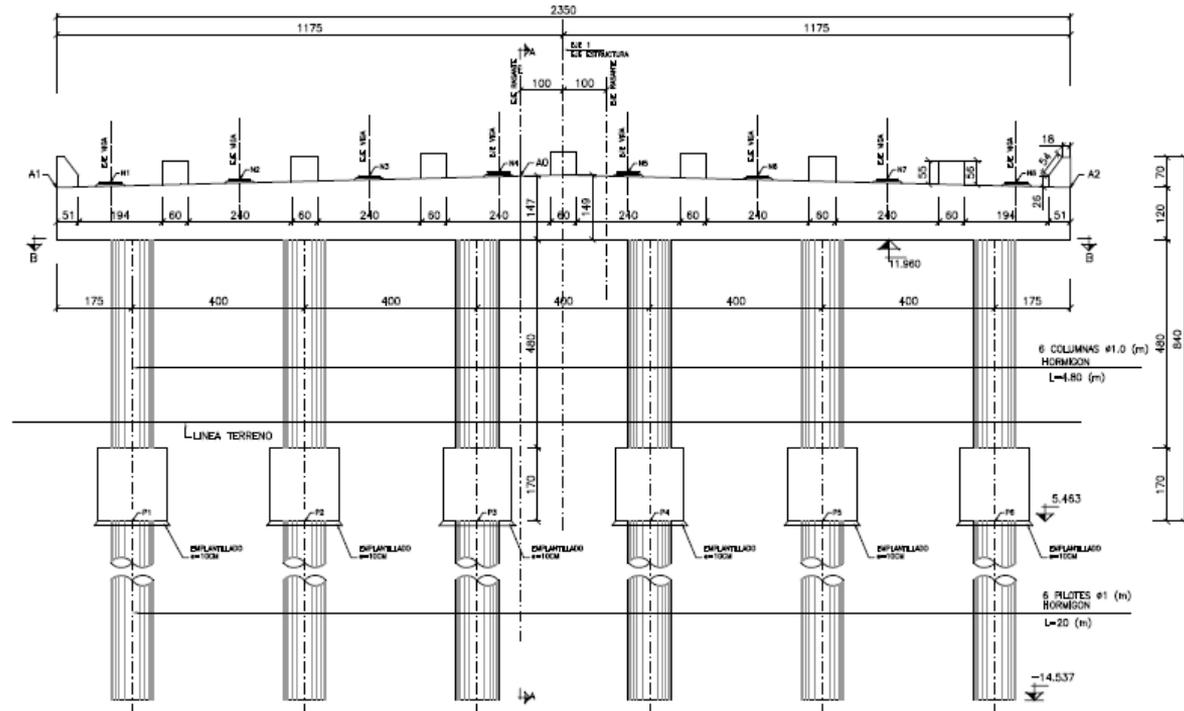
- a) Intermediate stoppers as shear key → damage in stopper not girders.
- b) Gap: ($h+5\text{cm}$ y $h+7\text{cm}$):
- c) Lateral bearing on stoppers.
- d) Transverse capacity A_0



Requerimiento de Diseño



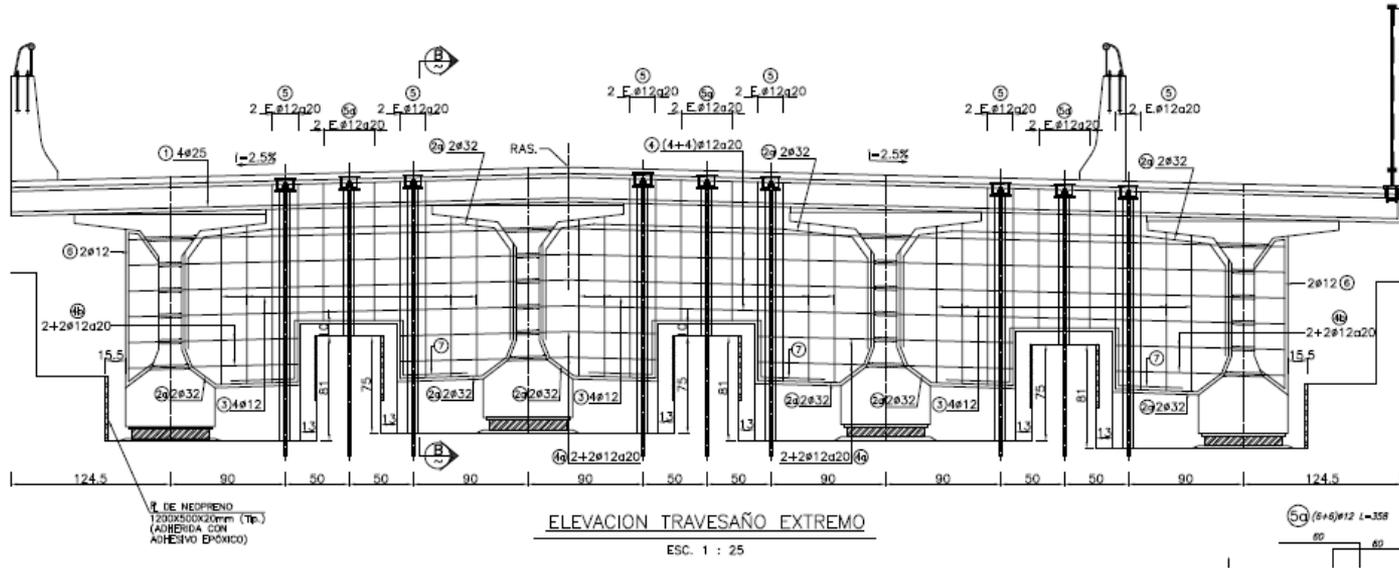
Requerimiento de Diseño



Requerimiento de Diseño

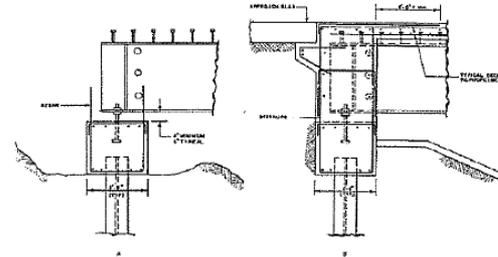
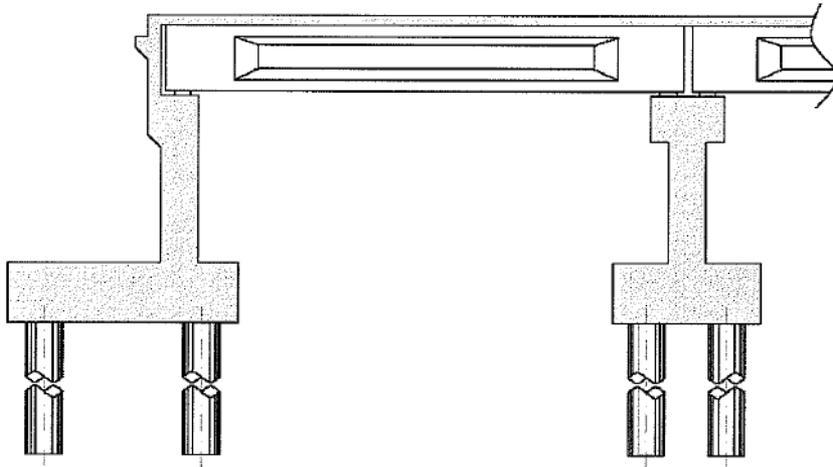


Requerimiento de Diseño



Requerimiento de Diseño

- Joint less Bridges (integral)
 - a) Joint between deck and abutment.
 - b) 2 span with span of 30 meters (back wall).
 - c) Joint between slab at each span over piers.



Requerimiento de Diseño

- **Column-Pile or abutment-pile**

- a) Not used when an axis or lines of piles containing the soil.
- b) Use only joint-less bridges with max. 2 spans
- c) It is used if consider a independent wall for soil contained

- **Bridge close to cloruros**

- a) Additional Clearance higher than 2 meters, return period 100 years.
- b) Rip – rap at both sides of the abutments

- **Footbridges**

- a) Use hyperstatic structures.
- b) Joint ramp and main span.
- c) Monolithic connection between pier and girder
- d) Not use precast piers with in-situ footing.
- e) Same seismic devices as bridges

Aplicaciones a mediano plazo

- New Seismic Spectra.
- Detailed Soil Macro zonification
- Bridge Monitoring, (typology, zone and soil).
- Fuse stoppers
- Special devices:
 - Couplers
 - Hydraulic connections
 - Hydraulic dampers
 - Elastoplastic dampers
 - POT bearing
- Improves seismic bars:
 - Steel
 - Deck connection
 - Bars or cables

Módulo 2 - Diseño

Aspecto General de Diseño

Gracias por su atención