

UNIDAD DIDÁCTICA V

REGIONES D Y ELEMENTOS DE CONTENCIÓN Y CIMENTACIÓN

LECCIÓN 20

EL MÉTODO DE LAS BIELAS Y TIRANTES

1. REGIONES B Y REGIONES D
2. IDEAS BÁSICAS SOBRE EL MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN
3. ESTRUCTURA INTERNA DE BIELAS Y TIRANTES
4. COMPROBACIÓN DE BIELAS
5. DIMENSIONAMIENTO DE ARMADURAS
6. COMPROBACIÓN DE ZONAS NODALES

1. REGIONES B Y REGIONES D

- **REGIONES B**

Estructuras o parte de ellas en las que **sí** es válida la **teoría general de flexión** (aplicable las hipótesis de Bernouilli-Navier)

- **REGIONES D (DE DISCONTINUIDAD)**

Estructuras o parte de ellas en las que **no** es válida la **teoría general de flexión** (no aplicable las hipótesis de Bernouilli-Navier)

- **Discontinuidad geométrica**

- cambio brusco de sección
- huecos
- codos y nudos

- **Discontinuidad estática**

- cargas concentradas
- reacciones
- anclajes de pretensado

- **Discontinuidad generalizada**

- vigas de gran canto
- ménsulas cortas
- zapatas rígidas

- **MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO Y COMPROBACIÓN**

- **Regiones B**

- Elección de las secciones determinantes
- Cálculo de armaduras (pretensado, armaduras pasivas) y comprobaciones → Modelos basados en ESTADOS LÍMITE
- Armaduras mínimas

- **Regiones D**
 - Cálculo de armaduras
 - Comprobación de compresiones en el hormigón
- Modelos para regiones D:
- cálculo elástico y lineal
 - fórmulas empíricas
 - **método de las bielas y tirantes**

2. IDEAS BÁSICAS SOBRE EL MECANISMO DE TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

- **ESFUERZOS INTERNOS**

- **Hormigón:** resultante de las tensiones sobre una sección cualquiera de la estructura
- **Acero:** esfuerzo de tracción o compresión de la barra (no se admite flexión)

- **EQUILIBRIO INTERNO**

Todos los esfuerzos internos de la estructura deben equilibrarse entre sí y con las cargas aplicadas en cualquier volumen que ocupe parte o toda la estructura

- **TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN EL HORMIGÓN**

- **Tracción:** nula o despreciable (puede haber excepciones)
- **Compresión:** se originan por actuación de una carga concentrada, una carga masiva (peso propio) o una carga distribuida

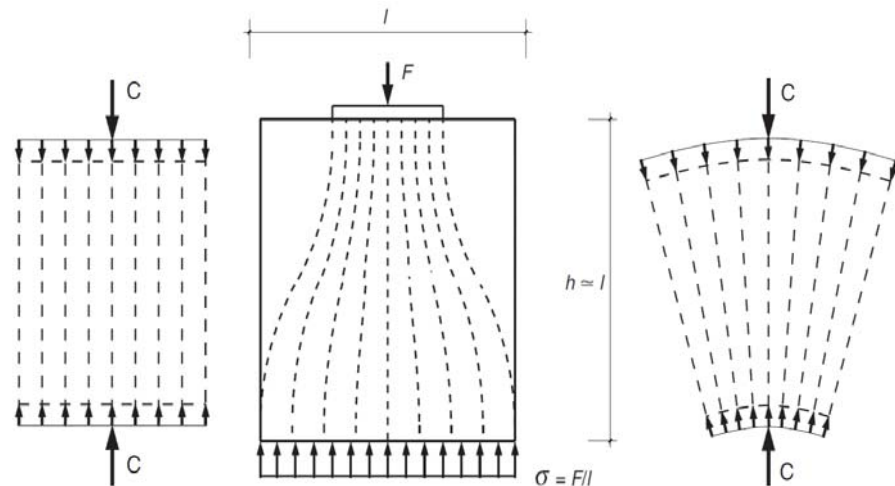
Las compresiones se pueden: propagar, difundir y componer o descomponer

Se PROPAGAN describiendo una línea llamada **trayectoria de carga**:

- siguiendo una **línea recta**, salvo que la desvíe otro esfuerzo (hormigón o armadura)
- siguiendo una **línea curva**, si existen fuerzas de desviación
- siguiendo una **línea quebrada**, si se compone con una armadura

Se DIFUNDEN tendiendo a ocupar toda la masa de hormigón para reducir las tensiones:

- en un **prisma** detrás de la carga aplicada
- en **huso**, produciendo tracciones en el prisma de regularización de tensiones
- en **abanico**



Fuente: EHE-08, 2011

Se COMPONENTEN o DESCOMPONEN:

- Varios esfuerzos pueden **componerse** en uno solo integrándose todas las trayectorias de carga en una sola
- Un esfuerzo puede **descomponerse** en varios esfuerzos de idéntica resultante generando las correspondientes trayectorias de carga

• TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS EN EL ACERO

- Compresión:

- Requiere arriostramiento transversal para que no pandee
- Solo se considera cuando el hormigón no es suficiente para transmitir las compresiones

- Tracción:

- No se considera la rigidez a flexión de la armadura
- La trayectoria de carga del esfuerzo transmitido por la armadura coincide con la forma de la propia armadura
- Una armadura de forma curva supone la existencia de fuerzas de desviación

- **TRANSMISIÓN DE ESFUERZOS ENTRE EL ACERO Y EL HORMIGÓN**
 - Por ADHERENCIA:
 - Requiere una determinada longitud
 - Supone un desvío de la trayectoria de compresiones
 - Por DOBLADO:
 - El radio de doblado no debe ser menor que un mínimo
 - Requiere una barra transversal de reparto si los radios no son grandes
 - Por ANCLAJE EN PROLONGACIÓN RECTA:
 - Se generan tracciones radiales y circulares
- **GENERACIÓN DE ESFUERZOS INTERNOS**
 - La transmisión de los esfuerzos exteriores a través de la estructura requiere la generación de esfuerzos internos de tracción y compresión
 - Si los esfuerzos internos distribuidos se representan por su resultante las trayectorias de carga constituyen una **estructura interna equilibrada**
 - La estructura interna que forman las trayectorias de carga de los esfuerzos depende del comportamiento de los materiales (lineal, no lineal, fisurado, plástico)

3. ESTRUCTURA INTERNA DE BIELAS Y TIRANTES

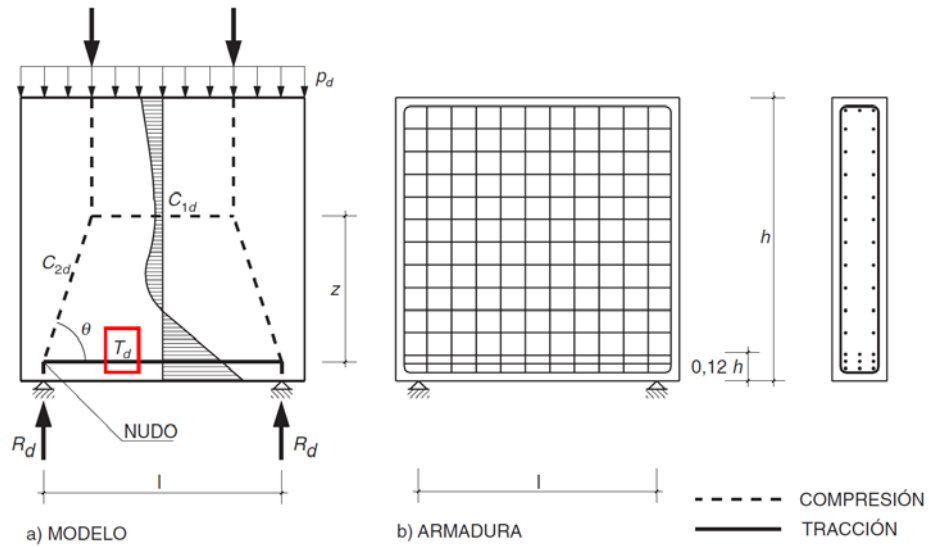
- **BIELAS:** tramos de trayectoria de carga de esfuerzos de compresión entre dos zonas nodales
- **TIRANTES:** tramos de trayectoria de carga de esfuerzos de tracción entre dos zonas nodales. Coincide con la armadura traccionada.
- **ZONAS NODALES:** zonas de encuentro de dos o más tramos de trayectoria de carga (bielas y/o tirantes). En estas zonas el hormigón está comprimido bi o triaxialmente.
- **PROCESO PARA SU DEFINICIÓN GEOMÉTRICA**
 - 1º) Establecer las cargas que actúan en el contorno de la zona D
 - 2º) Estudio de la distribución de tensiones que proporciona un cálculo elástico y lineal
 - 3º) Reglas prácticas para la generación del modelo

El estudio detallado de este proceso se desarrolla en las clases teóricas de la asignatura.

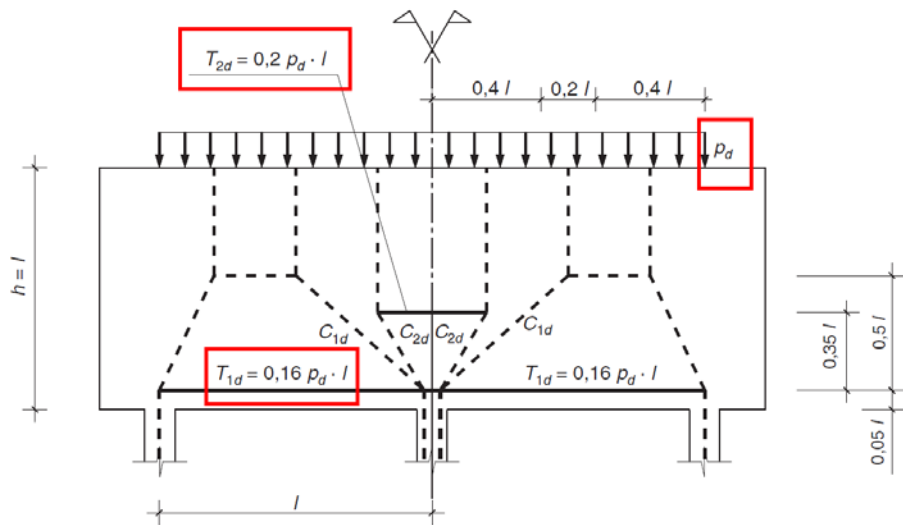
• EJEMPLOS:

VIGA DE GRAN CANTO (art. 63 EHE-08)

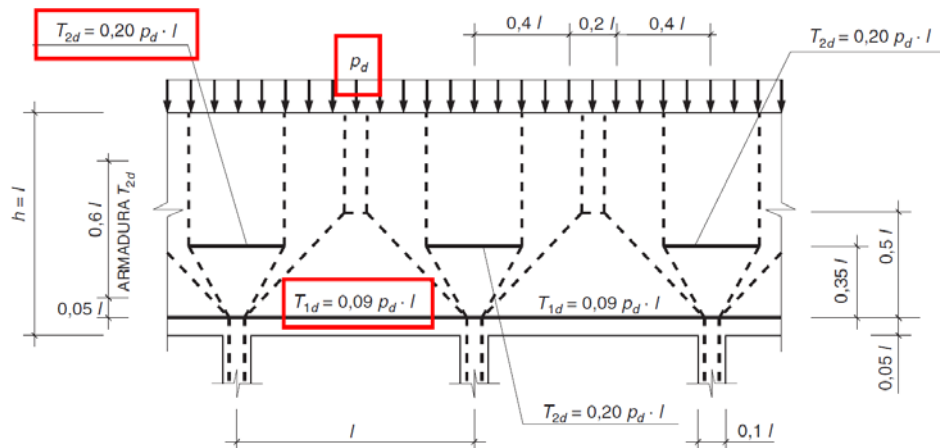
Biapoyada:



Continua de 3 apoyos:

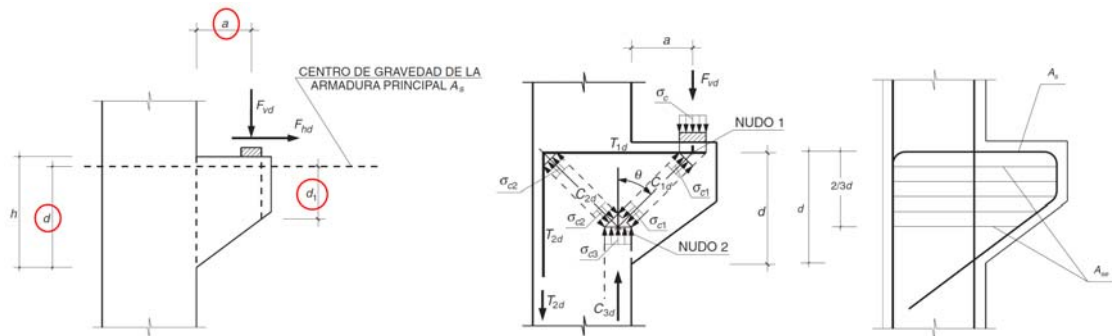


Continua de múltiples apoyos:



Fuente: EHE-08, 2011

MÉNSULA CORTA (art. 64 EHE-08)



Fuente: EHE-08, 2011

En las clases teóricas de la asignatura se desarrollan otros ejemplos (viga de gran canto con hueco, apoyo a media madera, codos, zapata rígida, encepado rígido, carga concentrada, zona de anclaje del pretensado).

4. COMPROBACIÓN DE BIELAS (art. 40.3 EHE-08)

- **BIELAS CON COMPRESIÓN UNIAXIAL**

- Caso del **cordón comprimido de una viga**, con una tensión máxima del hormigón:

$$f_{1cd} = f_{cd}$$

- Las **armaduras comprimidas** pueden contribuir con una tensión máxima:

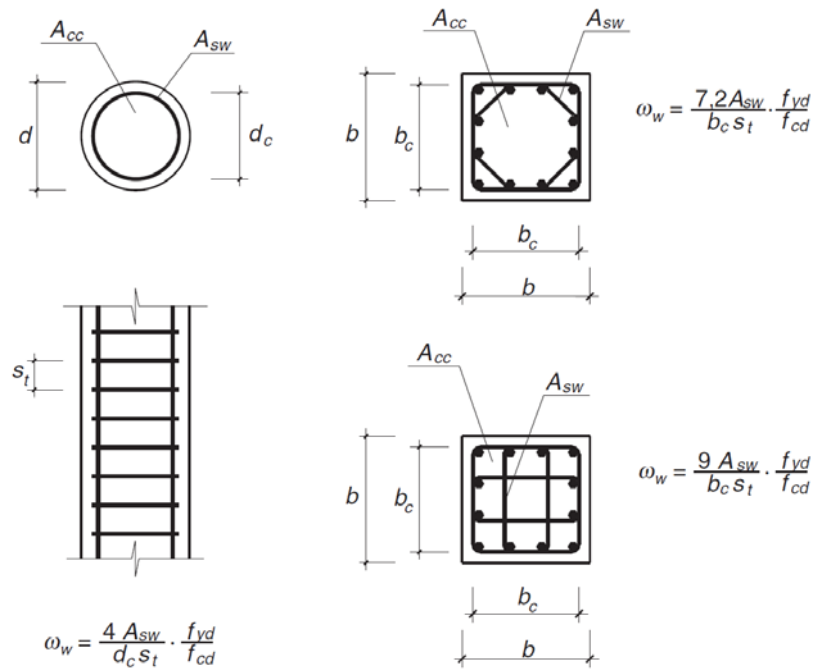
$$\sigma_{sd,c} = f_{yd} \quad (\text{cuando se establezcan condiciones de compatibilidad})$$

$$\sigma_{sd,c} = 400 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{cuando no se establezcan condiciones de compatibilidad})$$

- La capacidad resistente de las bielas puede aumentarse en el caso de encontrarse el **hormigón confinado** (disponiendo la armadura según la cuantía mecánica de confinamiento ω_w de la figura siguiente).

En ese caso, la resistencia del hormigón puede aumentarse multiplicando f_{1cd} por:

$$(1 + 1,5 \alpha_{\omega w})$$



Fuente: EHE-08, 2011

- **BIELAS EN ZONAS FISURADAS**

- **Fisuras paralelas** a las bielas y armadura transversal suficientemente anclada:

$$f_{lcd} = 0,70 f_{cd}$$

- **Fisuras no paralelas** a las bielas (las bielas transmiten compresiones a través de fisuras de **abertura controlada**) y armadura transversal suficientemente anclada. Este es el caso del alma de vigas sometidas a cortante:

$$f_{lcd} = 0,60 f_{cd}$$

- **Fisuras no paralelas** a las bielas (las bielas transmiten compresiones a través de fisuras de **gran abertura**). Este es el caso de elementos sometidos a tracción o el de las alas traccionadas de secciones en T:

$$f_{lcd} = 0,40 f_{cd}$$

5. DIMENSIONAMIENTO DE ARMADURAS (art. 40.2 EHE-08)

- **ARMADURA PASIVA**

$$T_d \leq T_u = A_s f_{yd}$$

- **ARMADURA ACTIVA:** puede formar parte de la celosía

$$T_d \leq T_u = A_p (f_{pd} - \sigma_{po})$$

El efecto del pretensado se introduce mediante el sistema de fuerzas equivalente.

6. COMPROBACIÓN DE ZONAS NODALES (art. 40.4 EHE-08)

- **TIPOS DE ZONAS NODALES**

- **Distribuidas:** sin restricción en las secciones de las bielas o solo en una de ellas.
No requieren comprobación.

- **Singulares:** al menos dos bielas tienen sección restringida.

Están sometidas a estados de tensión biaxiales o triaxiales.

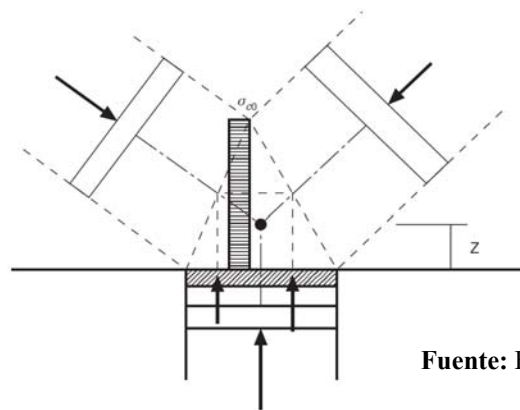
En ningún punto de la zona nodal debe producirse un estado de tensiones que suponga la rotura del hormigón en estado biaxial o triaxial.

- **NUDO FORMADO POR TRES BIELAS**

- **Geometría:** el nudo está formado por un triángulo

- **Estado tensional:**

- biaxial
- constante en el nudo
- definido por las tensiones en los tres planos de contacto con las bielas (basta conocer las tensiones en dos planos para determinarlo)



Fuente: EHE-08, 2011

- permite aumentar la capacidad resistente a compresión del hormigón:

$$f_{2cd} = f_{cd} \quad (\text{estados biaxiales de compresión})$$

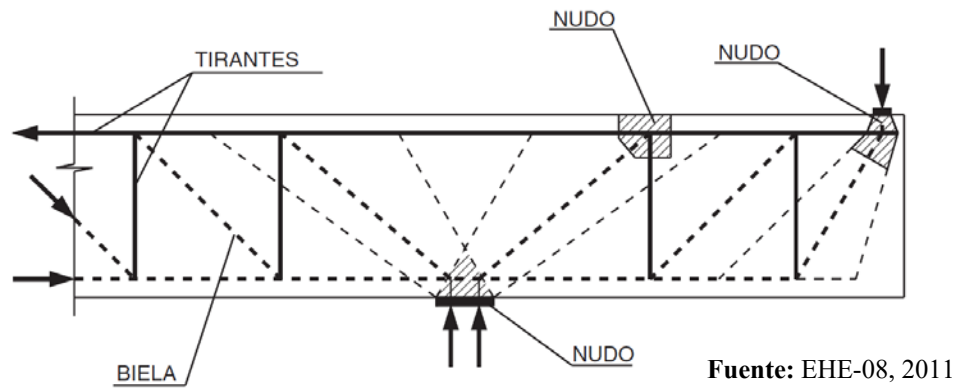
$$f_{3cd} = 3,30 f_{cd} \quad (\text{estados triaxiales de compresión})$$

- **NUDOS CON TIRANTES ANCLADOS**

La capacidad resistente a compresión en este tipo de nudos es:

$$f_{2cd} = 0,70 f_{cd}$$

- **APOYO INTERIOR DE UNA VIGA CONTINUA**



El campo de tensiones en la zona nodal no es constante.

La zona nodal se puede descomponer en tres zonas de tensiones constantes.

