

Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria

---

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

GUÍA DE ESTUDIO DE:  
**CURSO DE HORMIGÓN  
ARMADO**  
(según EHE-08)

**Autores:**

José Javier Ferrán Gozávez  
Miguel Redón Santafé

## PRÓLOGO

En relación a los estudios del *Máster en Ingeniería Agronómica* son de interés las construcciones realizadas en *hormigón armado*. El curso de *Hormigón y dirección de obras*, pretende continuar, tras el curso de Estructuras Metálicas, y conforme a las prescripciones de la Normativa vigente, la adquisición de las competencias necesarias para que el alumno disponga de las bases para realizar el proyecto de las construcciones complementarias de una nave (cimentaciones, forjados, soleras) y otras (muros, depósitos, etc.) realizadas en este material estructural.

El contenido se desarrolla en la publicación *Curso de hormigón armado (según EHE-08)*, editado por la Universidad Politécnica de Valencia (Nº 40).

El aprendizaje involucra una gran diversidad de conceptos y definiciones, por lo que resulta de gran utilidad la disponibilidad de un texto que resuma, destaque y sintetice los puntos esenciales de cada Tema. Ello redundará en una mayor y mejor comprensión de los contenidos. Por otra parte, las clases presenciales se imparten con el soporte de fichas o transparencias.

La disponibilidad de este material para el estudiante puede suponer una gran ayuda en el proceso de aprendizaje de esta materia:

- Al inicio del estudio de cada Tema, se realiza una lectura de las fichas para adquirir una visión general de los temas a tratar.
- Seguidamente se procede, mediante la publicación citada, al estudio detallado de cada uno de los puntos destacados en las fichas con mayor o menor intensidad según el grado de relevancia que se indica (esquina superior derecha de cada ficha).
- Se repite el estudio de las fichas, con un mayor énfasis en la asimilación de los esquemas y especialmente en la interpretación de las Figuras.
- De nuevo en la publicación, puede realizarse la lectura de los Temas completos, enriqueciendo la materia con los contenidos adicionales que se incluyen.

Se ha primado la sencillez y practicidad de los procedimientos utilizados acordes con la importancia y seguridad de los elementos estudiados. En la mayoría de los casos existen métodos más sofisticados para conocer con mayor precisión los contenidos de las materias abordadas.

En la parte práctica, se desarrollan algunos cálculos de un proyecto técnico de un edificio de hormigón armado. Se aplican hipótesis simplificadoras para que sea posible un cálculo manual de vigas y pilares, sin perder seguridad ni resultar excesivamente conservador.

ASUNTO	HORMIGON ARMADO (EHE-08)	TEMA	INTRODUCCIÓN GUIÓN ASIGNATURA	<p><b><u>NATURALEZA</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Guía de estudio</b> del curso de <i>Hormigón armado</i> del Máster en Ingeniería Agronómica (5 créditos)</li> <li>• Se compone de <i>fichas</i> cuyo contenido se desarrolla en la publicación <i>Curso de hormigón armado</i> (Nº 40, de la colección <i>Apuntes</i> de la Universidad Politécnica de Valencia)</li> </ul> <p><b><u>OBJETIVOS</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquirir capacidad para realizar un <b>PROYECTO</b> técnico de una estructura de hormigón u otros tipos de construcciones</li> <li>• Se analiza el comportamiento y procedimientos de diseño, cálculo y dimensionado de vigas y pilares de hormigón armado</li> </ul> <p><b><u>ANTECEDENTES</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se fundamenta en la <b>Resistencia de Materiales</b></li> </ul> <p><b><u>Otros conocimientos recomendados:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Física: estática y elasticidad básicas</li> <li>• Matemáticas: aritmética y geometría elemental</li> <li>• Dibujo técnico</li> </ul>
				REF.

ASUNTO		HORMIGON ARMADO (EHE-08)		TEMA		INTRODUCCIÓN GUIÓN ASIGNATURA		<p><b>TITULO</b></p> <p><b>INDICE DE TEMAS DEL CURSO</b></p>
								<p><b>Ud. Didáctica 1:</b> PROPIEDADES DEL HORMIGÓN Y DEL ACERO</p> <p><b>Tema 1:</b> Estructuras de hormigón</p> <p><b>Tema 2:</b> Materiales y dosificación</p> <p><b>Temas 3 y 4:</b> Propiedades del hormigón (resistencia y deformación)</p> <p><b>Temas 5 y 6:</b> Acero y anclaje</p> <p><b>Ud. Didáctica 2:</b> DIMENSIONADO DE SECCIONES</p> <p><b>Tema 7:</b> Condiciones de seguridad</p> <p><b>Temas 8, 9 y 10:</b> Cálculo a flexión y cortante</p> <p><b>Tema 11:</b> Disposición de armaduras</p> <p><b>Ud. Didáctica 3:</b> PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA EDIFICACIÓN</p> <p><b>Temas 12 y 13:</b> Dimensionado de vigas y pilares</p> <p><b>Tema 14:</b> Estados límites de utilización</p> <p><b>Tema 15:</b> Acciones en la edificación</p> <p><b>PRÁCTICAS:</b> CÁLCULO DE UN EDIFICIO DE OFICINAS ANEJO A UNA NAVE</p> <p><b>Tema 16:</b> Datos para el cálculo</p> <p><b>Tema 17:</b> Dimensionado de armaduras</p>
REF.		2						



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA INTRODUCCIÓN GUIÓN ASIGNATURA

- **LIBRO DE TEXTO: Curso de hormigón armado** (según la EHE-08) (J.J. Ferrán, M. Redón, F.J. Sánchez) (Nº 40) SPUPV
  - **Autores:** J.J.Ferrán, M. Redón (profesores del Departamento de Ingeniería Rural y agroalimentaria de la UPV)
  - **Nombre del fichero:** HOR-TRANS-2R.pdf
  - **Organización de cada ficha.** Dos fichas por página. En cada ficha se indica:
    - Título
    - Nº capítulo del libro
    - Relevancia: ● Alta ● Media ● Baja ● Complemento
    - Tema: Título de cada uno de los 17 temas
    - Ref. Nº de tema – Nº de ficha

**Publicaciones:**

- **HORMIGON ARMADO.** P Jiménez Montoya. 15 Edición (2010)
- **EHE-08: INSTRUCCION DE HORMIGON ESTRUCTURAL.** Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2008)
- **PROYECTO Y CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO PARA EDIFICIOS (TOMOS I y II).** José Calavera Ruiz. 6º Edición (2009)
- **PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ARMADO.** Cátedra de hormigón armado y pretensado. E.T.S. de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Madrid (2015)

REF. 3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA INTRODUCCIÓN GUIÓN ASIGNATURA



REF. 4

**HORMIGÓN:** material estructural:

- Resultado de amasar cemento, áridos (grava y arena) y agua
- Adopta la forma del molde o encofrado
- Adquiere con el tiempo una consistencia pétrea, resistente y rígida
- Posee una buena resistencia a compresión pero muy escasa a tracción

**HORMIGÓN ARMADO:** reforzar el hormigón con barras de acero para soportar las tracciones (flexión-vigas) o ayudar a las compresiones (pilares)

Por la *adherencia* hormigón y acero, ambos colaboran juntos para soportar los esfuerzos

**HORMIGÓN EN MASA** (sin armar)

**ESTRUCTURA:** debe aportar la necesaria resistencia, rigidez y estabilidad

Estructura de edificación:

- *pilares* (soportes, columnas)
- *vigas* (jácenas, dinteles)



Material constructivo **más usado** en edificación en general

**Ventajas** respecto al acero:

- Más **económico** (en general).
- Más durabilidad frente a la **corrosión**.
- Resistencia al **fuego** mayor ya que sus propiedades mecánicas decaen menos.
- Adopta la forma del encofrado. Facilita la ejecución de las uniones. Proporciona monolitismo y continuidad. Es más fácil proyectar y construir estructuras **hiperestáticas** con nudos rígidos.

En **naves** más competencia con el acero, por ciertas **desventajas**:

- Menos resistente. Es necesario mayor peso propio. Parte de la resistencia se emplea en soportar su **propio peso**. Más caro para grandes luces (el hormigón pretensado reduce el tamaño).  
Afecta al transporte y colocación en obra. Favorable frente a vibraciones.
- Puesta en obra más lenta (mayor número de operaciones, fraguado y endurecimiento). Se exceptúa el hormigón prefabricado (piezas en stock).
- Se adapta peor a plantas o alturas irregulares, ampliaciones.  
Hormigón prefabricado: elementos de dimensiones fijas.
- Proyecto técnico más costoso, es necesario mayor detalles de vigas, uniones.  
Esta labor está muy facilitada con programas informáticos.
- Propiedades mecánicas con gran dispersión. Dependen del tiempo.  
Es necesario realizar más operaciones de control (materiales, ejecución).

**HORMIGÓN**

**Instrucción de Hormigón Estructural** (EHE-08), (1-12-2008), marco en el que se establecen los requisitos para el Proyecto y Ejecución de Estructuras de Hormigón

**Ámbito de aplicación de la EHE-08**

A todas las estructuras de hormigón estructural, edificación o ingeniería civil El *Ingeniero* autor del Proyecto Técnico y la *Dirección Facultativa* de la obra **deben cumplir** la EHE-08, pero pueden adoptar soluciones alternativas justificadas y bajo su responsabilidad.

**CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION (CTE)**

Marco normativo que regula *las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios*, incluso instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de **seguridad** y habitabilidad.

Destacan los siguientes Documentos Básicos:

- ▶ DB SE: Seguridad Estructural.
- ▶ DB SE-AE: Acciones en la Edificación.

*Norma de Construcción Sismorresistente* (NCSE-02): Acciones sísmicas.

**Seguridad estructural:** los edificios deben cumplir con una fiabilidad adecuada las *exigencias básicas* siguientes:

- ▶ Exigencia básica **SE-1 Resistencia y Estabilidad**
- ▶ Exigencia básica **SE-2 Aptitud para el servicio**

**NORMATIVAS EUROPEAS:**

**Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón** (1992). **Eurocódigo 1: Acciones.**

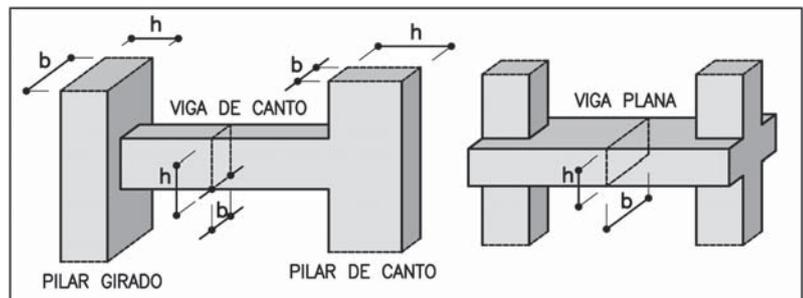
**Secciones de las vigas y pilares**

Sección rectangular: **canto "h"** y **ancho "b"**. Se fijan o predimensionan antes del cálculo de esfuerzos. Con los esfuerzos, se dimensiona la armadura necesaria.

En edificación tipos de **vigas**:

**Vigas de canto:** "h" > "b" las características mecánicas de la sección conformes con las demandas de una viga a flexión:

- ➔ Resistencia  $W = b \cdot h^2 / 6$   
(momento resistente)
- ➔ Rigidez  $I = b \cdot h^3 / 12$   
(momento de inercia)



**Vigas planas:** "b" > "h". Mayor gasto de hormigón o acero. Posible deformación excesiva. Menos apropiadas en zonas sísmicas.

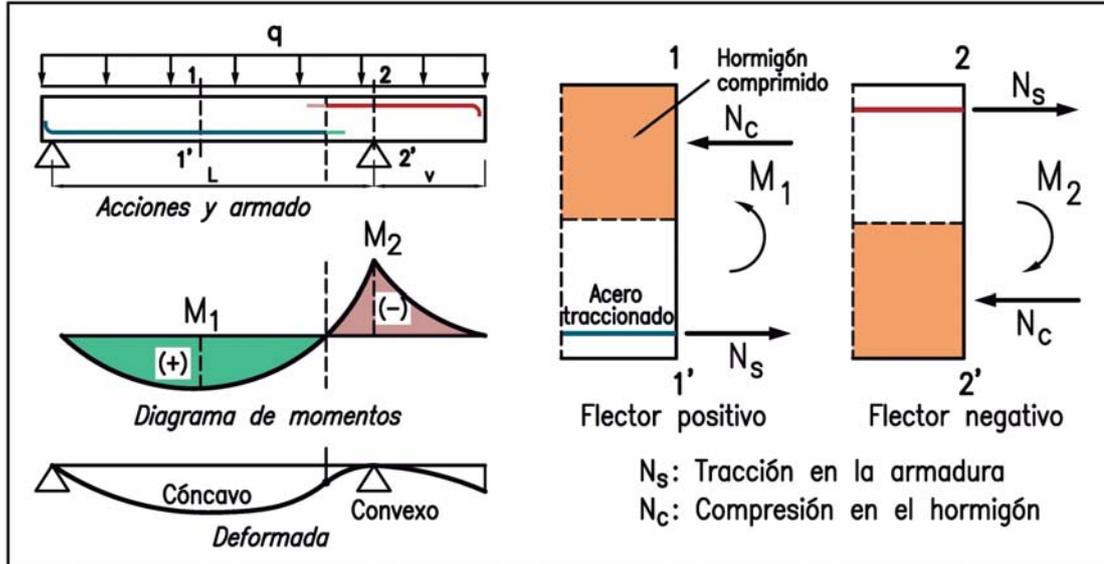
Ejecución: **ventajas** en la puesta en obra. Suelen tener el mismo h que el forjado. Menor altura de la edificación, jácena y forjado ocupan la misma posición en altura.

**Pilares:** El canto h de un pilar es la dimensión en el plano que contiene el pórtico, la anchura b la dimensión en profundidad.

- Pilares: a compresión y momentos no altos, sección cuadrada o algo rectangular.
- Para aprovechar el espacio interior se pone de plano (h < b) y no de canto (menos resistente)
- Dimensiones no inferiores a **25 cm** y múltiplos de **5 cm**

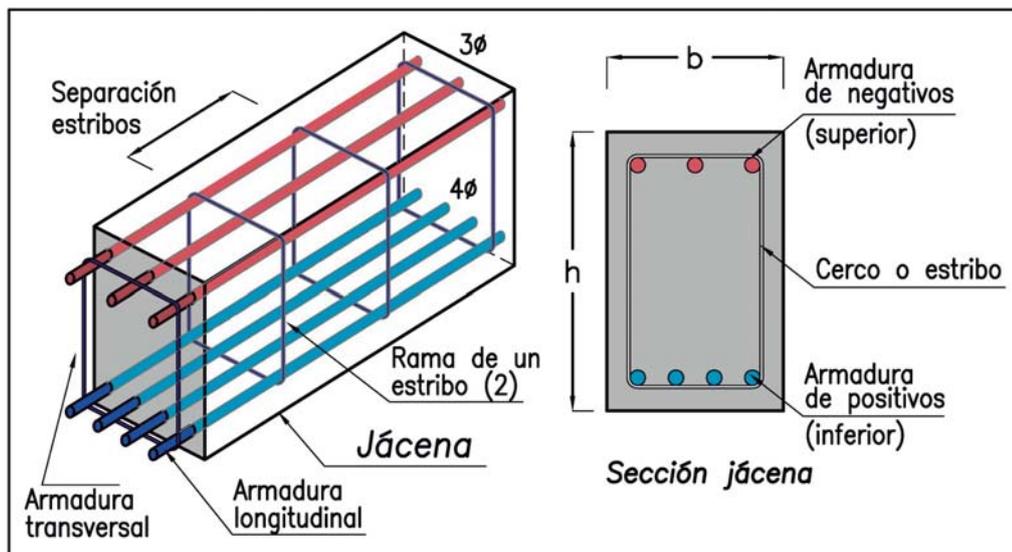
**Armadura longitudinal:** a lo largo de la viga. Soporta la flexión.  
El flector provoca tracciones en una de las caras de la viga:

- **Cara inferior** cuando el flector es positivo, se denomina *armadura a positivos*
- **Cara superior** cuando es negativo, *armadura a negativos*



**Armadura transversal:** cercos o estribos.

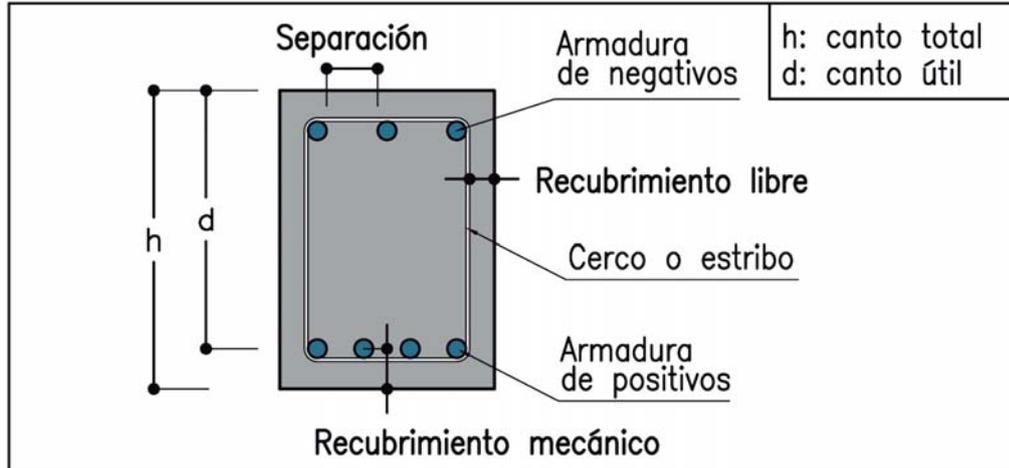
- Armadura más fina que la longitudinal y la rodea por fuera
- Se define por el N° de ramas en disposición vertical y separación
- Soporta el cortante



**Recubrimiento (libre):** distancia mínima de una armadura hasta la superficie exterior de hormigón más cercana

**Recubrimiento mecánico:** distancia del c.g. de la armadura longitudinal en una cara hasta el exterior

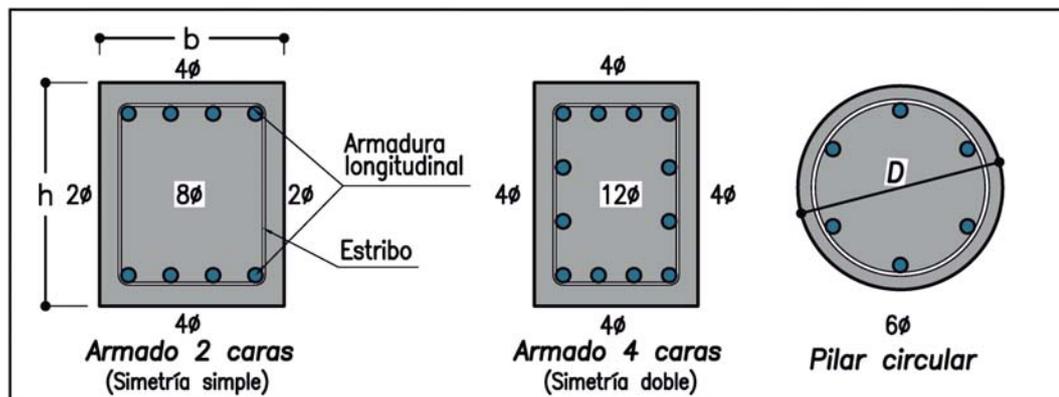
**Separación libre** de armaduras longitudinales es la distancia libre entre ellas



**ARMADO** similar al de jácenas

**SECCIÓN CUADRADA o RECTANGULAR,** Se prefiere una disposición **simétrica:** armado en dos caras (simple) o en las cuatro caras (doble). Se designa el armado en cada cara.

En pilares de sección **CIRCULAR,** el cerco o estribo también lo es y se dispone un mínimo de 6 armaduras longitudinales

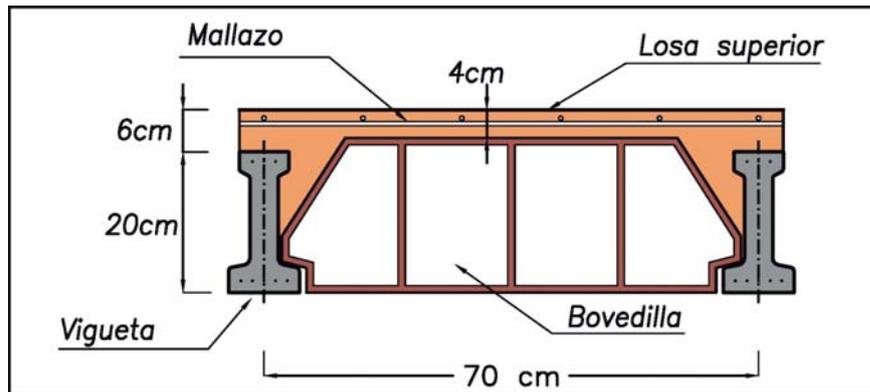


**FORJADO:**

Estructura que constituye los pisos de los edificios y que se apoya en las vigas o jácenas de la misma.

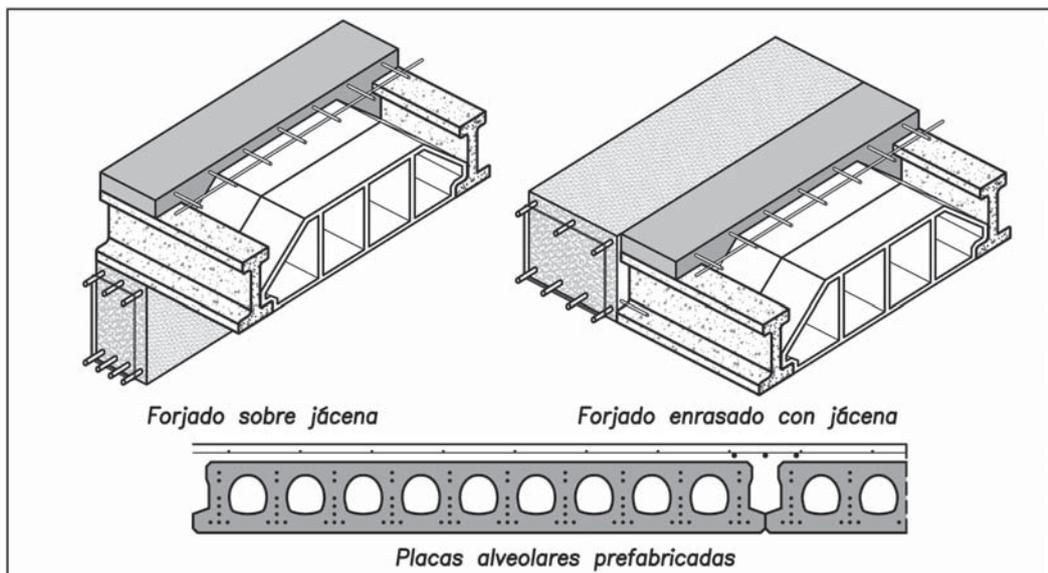
**Forjado unidireccional de viguetas pretensadas:** resisten en una dirección (se apoyan en dos lados opuestos), frente a los forjados **bidireccionales** (placas y forjados reticulares) que trabajan en dos direcciones.

**Componentes:**

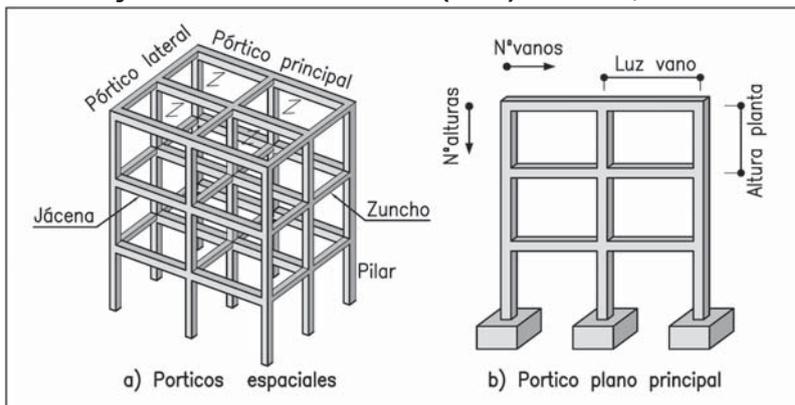


La forma de apoyo del forjado sobre las jácenas pueden ser:

- ➔ **Sobre la viga o jácena que la soporta.** Más habitual con placas alveolares.
- ➔ **Enrasada** su cara superior con la de una viga de canto que descuelga en la cara inferior.
- ➔ **Enrasadas** ambas caras con las de una viga plana.



- **Entramados reticulares** formando recuadros: Vanos x Alturas.
- Plantas a base de **forjados unidireccionales** de viguetas. El modelo estructural es un **pórtico plano** generalmente, cuyas barras son líneas rectas en sus ejes que se cruzan en las uniones o nudos.
- Nudos **rígidos** (hormigonado "in situ" y armado con continuidad) o en menos casos biapoyados (jácena prefabricada). Unión a la cimentación rígida.
- Según la EHE-08, **luz de cálculo** es la distancia entre ejes de apoyos.
- Un **pórtico principal** se enlaza con sus contiguos con **zunchos de atado** incluidos en el canto del forjado que proporcionan rigidez frente a acciones horizontales laterales. Constituyen los **pórticos laterales** o secundarios.
- En forjados bidireccionales (foto) o losas, es necesario un **análisis tridimensional**.



- ✳ **Conglomerante hidráulico:** amasado con agua adquiere consistencia pétre
- ✳ **Instrucción para la recepción de cementos:** RC-08
- ➔ **CEMENTOS PORTLAND**  
Fusión parcial de calizas, arcillas y algo de yeso (*clinker*) molido muy fino
- ➔ **FABRICACION**  
Horno inclinado, a 850° pierde el CO<sub>2</sub>, a 1400° se funde parcialmente
- ➔ **ESQUEMA**  

$$\text{SiO}_2 + \text{Ca CO}_3 + \text{CALOR} \rightarrow \text{CaO SiO}_2 + \text{CO}_2$$

$$\text{CaO SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO SiO}_2 n\text{H}_2\text{O} + \text{Ca (OH)}_2 + \text{CALOR}$$
- ➔ **COMPONENTES:**

SILICATO TRICÁLCICO	SC <sub>3</sub> (↑ resistencia e hidratación inicial)
SILICATO BICÁLCICO	SC <sub>2</sub> (resistencia e hidratación lentas)
ALUMINATO TRICÁLCICO	C <sub>3</sub> A (↑↑ resistencia e hidratación inicial)
ALUMINOFERRITO TETRACÁLCICO	C <sub>4</sub> AF (inerte, sólo fundente)

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

- ★ **Cementos comunes (CEM)**
  - ➔ **Denominación (CEM I a CEM V)**

Portland	CEM I
Portland con escoria	CEM II/S
Portland con humo de sílice	CEM II/D
<u>Portland con puzolana</u>	CEM II/P
Portland con ceniza volante	CEM II/V
<u>Portland con caliza</u>	CEM II/L
Portland mixto	CEM II/M
De alto horno	CEM III
Puzolánico	CEM IV
Compuesto	CEM V
  - ➔ **Clase resistente (32.5 ; 42.5 ; 52.5) (N/mm<sup>2</sup>)**  
**N:** Resistencia inicial normal    **R:** Alta resistencia inicial
    - Resistentes a los sulfatos (SR)    Ejemplo: EN 197-1 CEM II/A-P 42.5R-SR
    - Resistentes al agua del mar (MR)    ➤ De bajo calor de hidratación (LH)
- ★
  - **Blancos (BL)**    ➤ **Para usos especiales (ESP)**
  - **Con aluminato de calcio (CAC/R)**    ➤ **De albañilería (MC)**

REF.  
2

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

- ★ **RESISTENCIA**
  - ➔ **A compresión**    (↑ clase, ↑ resistencia a compresión hormigón)
  - ➔ **A flexotracción**    (elementos a flexión sin armar)
  - ➔ **Al desgaste**    (superficies de rodadura)
  - ➔ **Módulo de deformación E**    (rigidez)
- ★ **FINURA DE MOLIDO**
  - ➔ Más rápida y completa hidratación
  - ➔ Mejor cohesividad y pasta homogénea
  - ➔ Mayor retracción
  - ➔ Mayor calor de hidratación
  - ➔ Cemento más meteorizable.
- ★ **RESISTENCIA QUÍMICA**
  - ➔ Ataque de sulfatos (aguas selenitosas)
  - ➔ Ácidos orgánicos e inorgánicos
  - ➔ Recristalización de los componentes (*aluminosis*)
  - ➔ ↑ Volumen por cristalización de componentes líquidos
- ★ **HIDRATACIÓN**    ★ **DURABILIDAD**
  - ➔ Grandes macizos de hormigón    ➔ Relación A/C limitada
  - ➔ Bajas temperaturas    ➔ Mínimo contenido de cemento

REF.  
3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

★ **CLASIFICACIÓN**

➔ **PROCEDENCIA**

- ▶ Naturales
  - Áridos rodados
  - Áridos machacados
- ▶ Artificiales  
(subproductos, reciclados)

➔ **TAMAÑO**

- ▶ Árido fino
  - Arena fina: 0.063 – 2 mm
  - Arena gruesa: 2 – 4 mm
- ▶ Árido grueso o grava: mayor de 4 mm

➔ **DENSIDAD**

- ▶ Árido pesado
- ▶ Árido normal
- ▶ Árido ligero

★ **CARACTERÍSTICAS**

- ➔ Resistencia
- ➔ Dureza y tenacidad
- ➔ Porosidad
- ➔ Estado de la superficie

★ **DENOMINACIÓN**

➔ **Árido d/D – IL - N**

- ▶ Tamaño: d (mínimo) / D (máximo) (D = TM: Tamaño máximo de árido)
- ▶ Forma de presentación: IL: {R: rodado ; T: machacado ; M: mezcla}
- ▶ Opcional: N: Naturaleza del árido (calizo C, síliceo S, granito G, etc.)

REF.  
4

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

★ **Definición: Distribución de tamaños de partículas de un árido**

★ **Serie de tamices:**

TAMICES	ABERTURA EN mm.										
TYLER		0.149	0.297	0.59	1.19	2.38	4.76	9.50	19	38	73
UNE EN 933-2	0.063	0.125	0.25	0.50	1.0	2.0	4.0	8.0	16	31.5	63

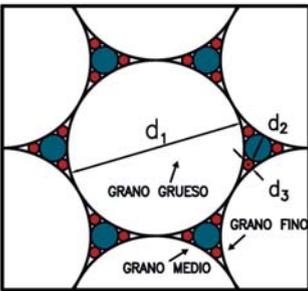
★ **Representación:**

**Abcisas:** Abertura de tamices

**Ordenadas:** Tanto por ciento que pasa por el tamiz

★ **Compacidad: Relación entre Volumen real/Volumen aparente**

★ **Superficie de granos total mínima:**



1. Escalón  
Grano grueso ( $d_1$ )  
porcentaje de vacíos 26%
2. Escalón  
Grano medio ( $d_2=0.156 d_1= 1/7 d_1$ )  
porcentaje de vacíos 12%
3. Escalón  
Grano fino ( $d_3=0.156 d_2$ )  
porcentaje de vacíos 4%

REF.  
5

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

★ **AGUA DE AMASADO**

- ▶ Hidratación del cemento  
(0.1-0.2 partes en peso de cemento)
- ▶ Docilidad  
(0.4-0.65 partes en peso de cemento)

➔ **EXCESO DE AGUA**

- ▶ Disminución de resistencia
- ▶ Mayor tiempo de fraguado
- ▶ Aptitud de compactación

★ **AGUA DE CURADO**

➔ **POTABILIDAD DEL AGUA**

- ▶ Agua del mar
- ▶ Agua pura o de alta montaña
- ▶ Agua con grasas, aceites, etc.
- ▶ pH < 5
- ▶ Presencia de finos: limos o arcillas
- ▶ En fase de curado, mayor sensibilidad

REF.  
6

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

- ★ Productos que añadidos al hormigón (<5%) mejoran algunas de sus propiedades
- ★ Deben ser productos reconocidos y deben respetarse las dosificaciones

ADITIVOS	OBJETIVOS	APLICACIONES	EFECTOS NOCIVOS
PLASTIFICANTES FLUIDIFICANTES	↑ la docilidad del hormigón y ↓ el contenido en agua	Facilitar la puesta en obra. Hormigones más resistentes y durables	Ciertos productos inducen mayor retracción
<u>SUPERFLUIDIFICANTES</u>	↑ docilidad del hormigón fresco/↑ la resistencia al ↓ la relación A/C.	Bombeo de hormigón. Piezas fuertemente armadas o complejas.	La masa debe utilizarse antes de una hora
ACELERADORES DE FRAGUADO	Conseguir un fraguado muy rápido	En trabajos de reparaciones rápidas	Reducción de la resistencia
ACELERADORES DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO	↑ la velocidad de fraguado y endurecimiento	Hormigonado en invierno. Resistencias rápidas y traslado de cimbrados	Mayor retracción. Resistencia a los sulfatos ↓. Peligro de corrosión.
RETARDADORES	↓ el comienzo del fraguado y endurecimiento.	Hormigonado bajo fuertes calores. ↑ tiempo transporte	↑ segregación del agua en hormigón fresco
AIREANTES	Pequeñas burbujas estables y uniformes	Anticongelante. Carreteras y pistas de aterrizaje	Resistencia algo ↓
MULTI-FUNCIONALES	Modificar más de una de las funciones definidas		

- ★ Otros productos: impermeabilizantes, resinas epoxídicas y polivinílicas

REF.  
7

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

REF.  
8

- ★ **Proporción más económica de los componentes de un hormigón de una determinada calidad**
    - ▶ Según reglas de buena práctica (tradicional)
    - ▶ Según métodos técnicos
  - ★ **Las centrales hormigoneras suministran el hormigón preparado al Constructor**  
No está permitido fabricar hormigón estructural que no sea de central
- DATOS DE PARTIDA** para dosificar un hormigón:
- ▶ Resistencia a compresión del hormigón (Tema 2)
  - ▶ Durabilidad del hormigón (Tema 3)
    - ➔ Relación Agua/Cemento (A/C)
    - ➔ Cantidad de cemento
  - ▶ Tamaño máximo de árido (TM): Densidad de armaduras
  - ▶ Tipo de cemento:
    - ➔ Ambientes agresivos (SR, MR).
    - ➔ Bajo calor de hidratación
    - ➔ Otros: cementos blancos, baja retracción
  - ▶ Tipo de árido:
    - ➔ Densidad (hormigones ligeros)
    - ➔ Hormigones de alta resistencia
    - ➔ Árido reciclado

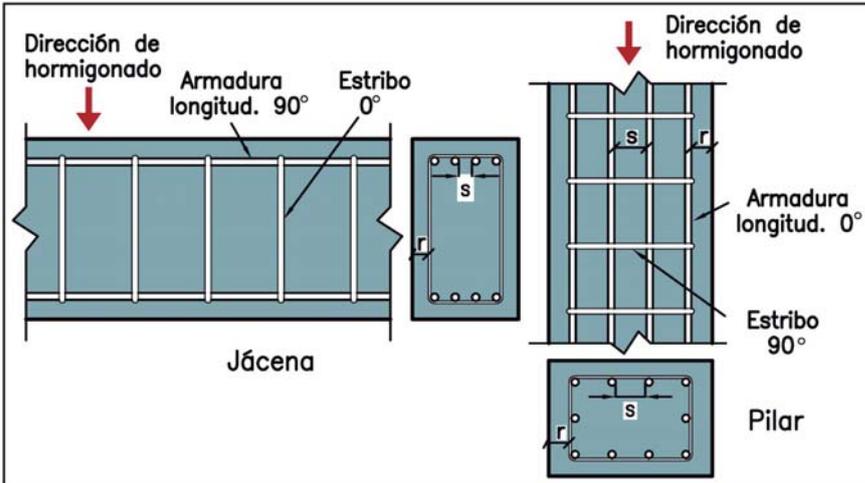
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

REF.  
9

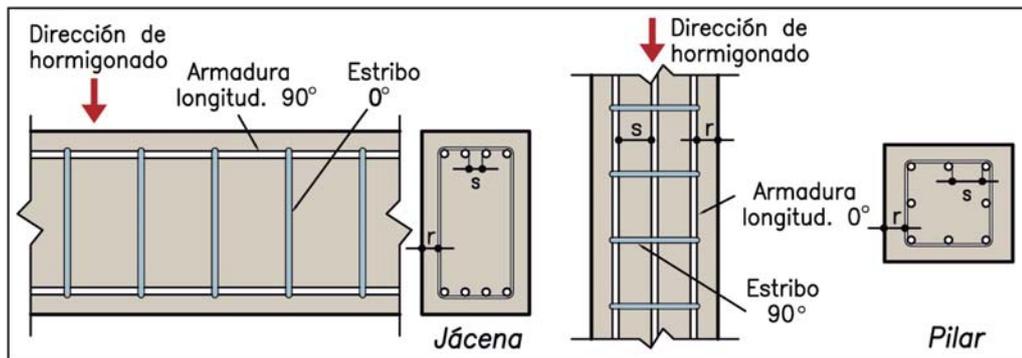
- ★ **RELACION AGUA/CEMENTO**  
Importante respecto a la resistencia  
Debe ser tan baja como lo permita una buena puesta en obra
  - ① Depende del tipo de cemento y áridos
    - ▶ Los áridos rodados necesitan menos agua
    - ▶ Un cemento de menor clase sería necesaria menos agua que uno de mayor clase
  - ② EHE-08: prescribe la máxima relación Agua/Cemento (Tema 3)
  - ③ EHE-08: prescribe la mínima cantidad de cemento (kg/m<sup>3</sup>) (Tema 3)
- ★ **TAMAÑO MAXIMO DE ÁRIDO**  
Tamiz por el que pasa más del 90% y el total por el tamiz de abertura doble
  - ▶ **INFLUENCIAS:**
    - Conviene mayor tamaño posible
    - Se debe al ser menor el agua para una misma consistencia y menor el cemento para la misma resistencia
    - Pero compatible con una adecuada puesta en obra (densidad armaduras)

★ **Compatible con las dimensiones y el armado**

- ①  **$TM \leq 0.8 \cdot s$**  (separación libre de armaduras)
- ②  **$TM \leq 0.8 \cdot r$**  (recubrimiento armaduras horizontales)
- ③  **$TM \leq 1.25 \cdot r$**  (recubrimiento en armaduras verticales)
- ④  **$TM \leq 0.25 \cdot d$**  (dimensión mínima)
- $TM < 0.33 \cdot d$**  (encofrado a una cara)
- $TM < 0.4 \cdot e$**  (espesor losa superior forjado)



- ▶ **Armaduras: longitudinal  $\phi 20$  mm ; estribo  $\phi 10$  mm**
- ▶ **Recubrimientos:  $r_{\text{estribo}} = 30$  mm ;  $r_{\text{arm. long}} = 30 + 20/2 = 40$  mm**
- ▶ **Separación entre armaduras:  $s_{\text{pilar}} = 50$  mm ;  $s_{\text{viga}} = 30$  mm**



	Tipo de armadura Dirección hormigonado	Recubrimiento "r"	Separación armaduras "s"
Jácenas	Longitudinal : $\alpha = 90^\circ$	$TM \leq 0.8 \cdot r_{\text{arm}}$ (3.2 cm)	$TM \leq 0.8 \cdot s$ <b>(2.4 cm)</b>
	Transversal : $\alpha = 0^\circ$	$TM \leq 1.25 \cdot r_{\text{est}}$ (3.75 cm)	
Pilares	Longitudinal : $\alpha = 0^\circ$	$TM \leq 1.25 \cdot r_{\text{arm}}$ (5 cm)	$TM \leq 0.8 \cdot s$ (4 cm)
	Transversal : $\alpha = 90^\circ$	$TM \leq 0.8 \cdot r_{\text{est}}$ <b>(2.4 cm)</b>	

- ▶ **En la práctica: siempre hay armadura horizontal, luego  $TM \leq 0.8 \cdot \min[r, s] = 24$  mm**

- ★ **CONSISTENCIA:** aptitud del **hormigón fresco** para deformarse y ocupar todos los huecos del **encofrado** o molde donde se vierte. Función de:
  - ▶ Tipo de elemento
  - ▶ Geometría del elemento y armadura
  - ▶ Forma de compactación
  - ▶ Hormigones bombeados, autocompactantes
  - ➔ Evitar el empleo de la consistencia seca y plástica en obras ordinarias
  - ➔ La consistencia líquida se permite sólo con superplastificantes
- ★ **Cono de Abrams**  
Molde troncocónico de 30 cm de altura que se llena de hormigón y una vez desmoldado se mide la pérdida de altura en centímetros
- ★ **Cantidad de agua/m<sup>3</sup> de hormigón (orientativo):**

CONSISTENCIA		Asiento Cono Abrams (cm)	Rodados		Machacados	
			40 mm	20 mm	40 mm	20 mm
Seca	S	0-2	155	175	175	195
Plástica	P	3-5	170	190	190	210
Blanda	B	6-9	185	205	205	225
Fluida	F	10-15	200	220	220	240
Líquida	L	16-20	215	235	235	255

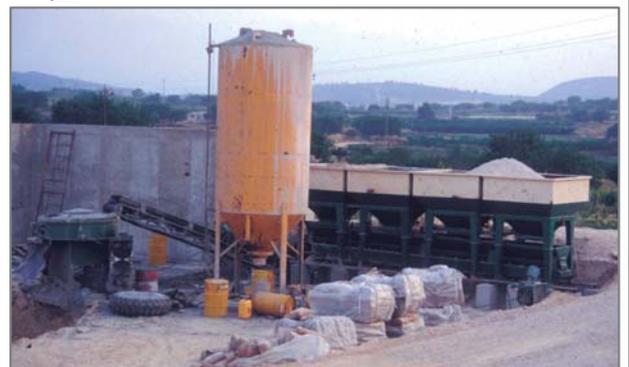


- ★ **Realización de amasadas de prueba y posible aplicación de correcciones**

AL AUMENTAR	Trabajabilidad	Resistencia
Finura de la arena	Aumenta	Disminuye
Relación grava/arena	Disminuye	Aumenta
Cantidad de agua	Aumenta	Disminuye
Tamaño máximo de árido	Disminuye	Aumenta

- ★ **Influencia de finos:** partículas  $\phi < 0.08$  mm (arena muy fina, limos, arcillas)
    - ▶ Aumento de la superficie total de árido
    - ▶ Aumento de la cantidad de agua
- ] más necesidad de cemento

- ★ **Ejemplo de dosificación (para 1 m<sup>3</sup> de hormigón)**
  - Agua: 160 - 210 litros
  - Cemento: 275 - 350 kg
  - Grava (seca): 1100 - 1400 kg
  - Arena (seca): 600 - 800 kg



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

- \* **Preparación del hormigón**
  - ▶ Hormigón fabricado en central
  - ▶ Hormigón "in situ". No permitido estruct.
- \* **Transporte**
  - ▶ Evitar la segregación de hormigón
  - ▶ Tiempo transcurrido desde la fabricación
  - ▶ Evaporación del agua de amasado
  - ▶ Cada amasada en un recipiente único
- \* **Puesta en obra**
  - ▶ Evitar segregación, exceso altura, golpes
  - ▶ Encofrados, puntales, armaduras firmes
  - ▶ Cada amasada identificada. No mezclar
  - ▶ Espesor de tongadas entre 20 a 30 cm
  - ▶ Transporte neumático u hormigón bombeado
  - ▶ Compactación del hormigón
    - Picado con barra (consistencia blanda)
    - Apisonado (consistencia blanda)
    - Vibrado (consistencia blanda o plástica)

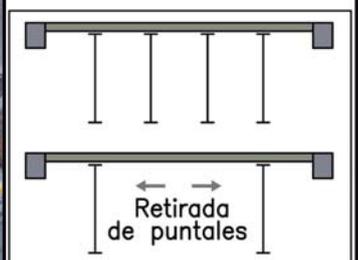


REF. 14

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 2 : MATERIALES Y DOSIFICACION

- \* **Otros aspectos**
  - ▶ Juntas de hormigonado
  - ▶ Curado del hormigón
  - ▶ Influencia de la temperatura
  - ▶ Desencofrado y descimbrado: plazos.

Temperatura °C	≥ 24° C	16°C	8°C	2°C
<b>PILARES</b>	9 horas	12 horas	18 horas	30 horas
<b>VIGAS:</b> - Fondos del encofrado	7 días	9 días	13 días	20 días
	- Puntales	10 días	13 días	18 días

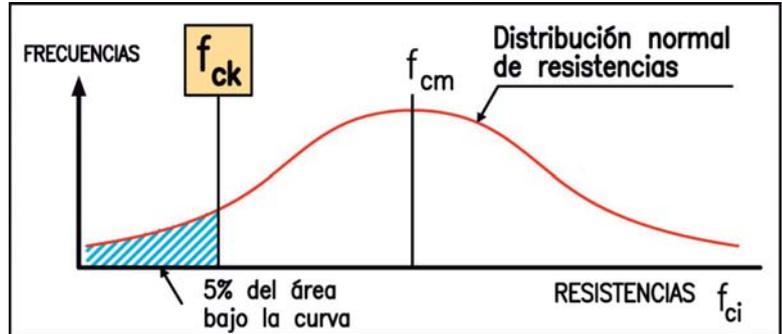


REF. 15

★ **DEFINICIÓN  $f_{ck}$ :**

Valor con una probabilidad de 0.95 de que se presenten resistencias superiores a ella (de cada 100 valores, 5 serán inferiores a  $f_{ck}$ )

- ➔ Resistencia media:  $f_{cm}$
- ➔ Relación entre  $f_{ck}$  y  $f_{cm}$ :  
 $f_{cm} = f_{ck} + 8$  (N/mm<sup>2</sup>)
- ➔ **Ejemplo:**  $f_{ck} = 25$  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{cm} = 25 + 8 = 33$  N/mm<sup>2</sup>



- ➔  $f_{ck}$  vale, para un número elevado de valores:

$$f_{ck} = f_{cm}(1 - 1.645 \times \delta) \quad \delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad ; \quad f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}$$

siendo:  $\delta$  (Coeficiente de variación) ;  $f_{cm}$  (Resistencia media)

★ **DEFINICIÓN  $f_{ck}$  de proyecto:**

La que adopta el proyectista como base de sus cálculos

**DENOMINACIÓN:** **T - R / C / TM / A**

- ▶ **T: Tipo de hormigón:**
  - ➔ HM: Hormigón en masa
  - ➔ HA: Hormigón armado
  - ➔ HP: Hormigón pretensado
- ▶ Resistencia característica especificada (N/mm<sup>2</sup>)  
**20\*** , **25** , **30** , **35** , **40** , **45** , **50**  
Alta resistencia: 55 , 60 , 70 , 80 , 90 , 100  
\* R = 20 N/mm<sup>2</sup>, obras de hormigón en masa o armado de escasa importancia,  $f_{cd} \leq 10$  N/mm<sup>2</sup>, control indirecto (consistencia)
- ▶ **C : Tipo de consistencia**
  - ➔ Seca      ➔ Plástica
  - ➔ Blanda   ➔ Fluida   ➔ Líquida
- ▶ **TM: Tamaño máximo de árido (en mm)**
- ▶ **A: Designación del ambiente (I, IIa, IIb...) (Tema 4)**

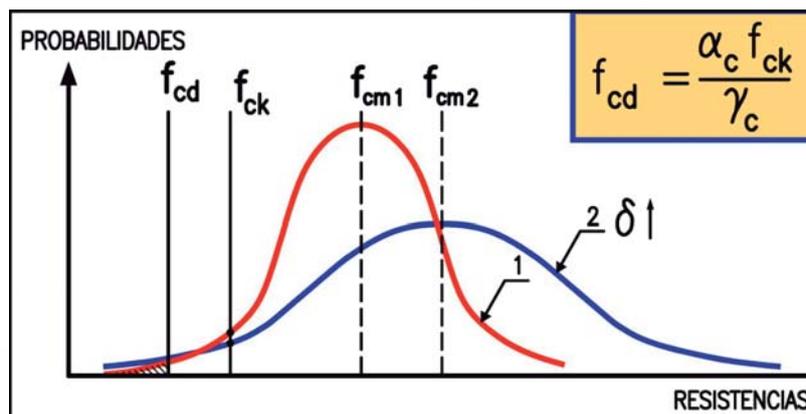
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 3 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (RESISTENCIA)

- ▶ **HORMIGONES NO ESTRUCTURALES**
  - ➔ Hormigón de limpieza: **HL-150/C/TM**
  - ➔ Hormigón No Estructural: **HNE-15/C/TM**
- ▶ **HORMIGON CON FIBRAS: HRF**  
Pequeñas fibras de acero (A) distribuidas en la masa que mejoran la resistencia a tracción, retracción, incendio, abrasión, etc.
- ▶ **HORMIGONES RECICLADOS: HR**  
Se usa árido grueso procedente del machaqueo de residuos de hormigón sanos. Hasta un 20% del árido grueso, las propiedades no se reducen respecto al convencional
- ▶ **HORMIGON LIGERO: HLE**  
Densidad entre 1200 y 2000 kg/m<sup>3</sup>  
Se debe a los áridos ligeros empleados (vermiculita, perlita, piedra pómez, pizarras o esquistos expandidos)
- ▶ **HORMIGON AUTOCOMPACTANTE**  
Se compacta bajo su propio peso  
Se sustituye el indicativo de la consistencia C por **AC**

REF.  
3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 3 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (RESISTENCIA)

- \* **Es la resistencia característica por un factor  $\alpha_c$  que considera el fenómeno del cansancio del hormigón y dividida por un coeficiente de minoración  $\gamma_c \geq 1$**
- CANSANCIO DEL HORMIGON**  
Reducción de la resistencia del hormigón sometido a altos niveles de esfuerzo durante un plazo de tiempo muy largo
- ➔ Dos hormigones de igual  $f_{ck}$ , tienen el mismo  $f_{cd}$ , pero el de mayor  $\delta$  tiene menos resistencia (no cuantificable: área rallada menor)
  - ➔ Control indirecto:  $f_{cd} \leq 10 \text{ N/mm}^2$  (sólo ensayo de consistencia)



REF.  
4

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
 TEMA TEMA 3 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (RESISTENCIA)

- \* **RESIST. CARAC. REAL:** Se ensaya cada amasada. Muy costoso. Poco habitual
- \* **RESISTENCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA:**  
Valor que comprueba que la resistencia en obra no es inferior a la de proyecto
- \* **AMASADA:** Cantidad de hormigón fabricado a la vez e iguales condiciones  
No es económico ensayar todas las amasadas, sólo una parte
- \* **LOTE:** Hormigón con igual origen, destino y que se somete a juicio en conjunto
- \* **CONTROL ESTADISTICO DEL HORMIGON (mínimo 3 lotes):**

Extensión máxima del lote	Tipo de elementos estructurales		
	Comprimidos (pilares)	En flexión simple (vigas, forjados)	Macizos (zapatas)
Límite superior			
Volumen de hormigón	100 m <sup>3</sup>		
Tiempo hormigonado	2 semanas		1 semana
Superficie construida	500 m <sup>2</sup>	1.000 m <sup>2</sup>	-
Número de plantas	2		-

- \* **N:** Mínimo número de amasadas muestreadas

	En general	Distintivo de calidad
$f_{ck} \leq 30 \text{ N/mm}^2$	$N \geq 3$	$N \geq 1$
$30 < f_{ck} \leq 50$	$N \geq 4$	$N \geq 1$
$f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$	$N \geq 6$	$N \geq 2$

REF. 5

 ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
 TEMA TEMA 3 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (RESISTENCIA)

- \* Distintivo de calidad oficialmente reconocido,  $\downarrow\downarrow$  cantidad de ensayos.
  - ▶ Garantía conforme Apart. 5.1. y Anejo 19 EHE-08
  - ▶ El tamaño de los lotes puede ser mayor (5 veces mayor) y  $N$  menor  
**Anulado el Anejo 19 de la EHE-08 el 9-2012 por el Tribunal Supremo, dónde se regulaban. Siguen siendo válidos y varias entidades certificadoras los otorgan**
- \* **Probetas**
  - ▶ Dos (habitual) por amasada
  - ▶ Cilíndrica (habitual, de 15x30 cm.) y cúbica (15 de lado)  
Coeficiente conversión de resistencia :  $f_{c, cilin.} = \lambda_{cil, cub15} \cdot f_{c, cúbica}$  ;  $\lambda_{cil, cub15} = 0.90$
- \* Se obtiene la media de las probetas por amasada:  
Para dos probetas el recorrido relativo máximo es:  $\frac{2 \cdot (f_1 - f_2)}{(f_1 + f_2)} \leq 0.13$
- \* Ensayo a los 28 días. Coeficientes de extrapolación de resistencia a otra edad (orientativo). Pueden ensayarse probetas a los 3 ó 7 días:

EDAD del HORMIGON (días)	3	7	14	21	28	60	90	180	360	1825	10950
CEM 42.5R, CEM52.5R	0.66	0.82	0.92	0.97	1.00	1.07	1.09	1.13	1.16	1.19	1.21
CEM 32.5R, CEM 42.5	0.60	0.78	0.90	0.96	1.00	1.08	1.12	1.16	1.20	1.24	1.27
CEM 32.5	0.46	0.68	0.85	0.94	1.00	1.13	1.18	1.26	1.32	1.40	1.43

REF. 6

Se estudia el lote del que:

- \* **N**: Número de amasadas menor que el real que se van a analizar.
- \* **x<sub>i</sub>**: resistencia media de las probetas (generalmente 2) de una amasada.

→ Ordenación de los valores de x<sub>i</sub>:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$$

→ Casos de control:

- ▶ Caso 1: Distintivo (d.c.o.r.)
- ▶ Caso 2: Sin distintivo
- ▶ Caso 3: Sin distintivo y más de 36 amasadas

→ Aceptación del lote:

- ▶ Caso 1:  $x_1 \geq f_{ck}$
- ▶ Caso 2:  $f(\bar{x}) = \bar{x} - K_2 r_N \geq f_{ck}$

Valor del recorrido muestral:  $r_N = x_{(N)} - x_{(1)}$

		Número de amasadas controladas (N)			
Coeficiente K <sub>2</sub>					
	3	4	5	6	
	1.02	0.82	0.72	0.66	

- Criterio de aceptación del lote:
- ▶ Extracción de probetas testigo
  - ▶ Estudio de la variación de la seguridad
  - ▶ Refuerzo de los elementos afectados
  - ▶ Rebajar la capacidad de carga
  - ▶ Demolición

- \* Resistencia baja (6 – 7% respecto a la compresión)
- \* Depende entre otros de:
  - ▶ Resistencia a compresión
  - ▶ Naturaleza y limpieza de los áridos
- \* Resultados de ensayos de gran dispersión
- \* Interesa conocerlo en:
  - ▶ Firmes y pavimentos (piezas sin armado)
  - ▶ Retracción y cambios de temperatura
  - ▶ Esfuerzo cortante
  - ▶ Control de fisuración y cálculo de flechas
- \* En barras a flexión, la resistencia a tensiones de tracción se considera **nula**
- \* Según la EHE-08, puede obtenerse (si no se dispone de ensayos):

① Resistencia **media (m)** a **tracción** (si no se dispone de ensayos):

$$f_{ct,m} = 0.30 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{HA-25: } f_{ct,m} = 0.30 \sqrt[3]{25^2} = 2.6 \text{ N/mm}^2$$

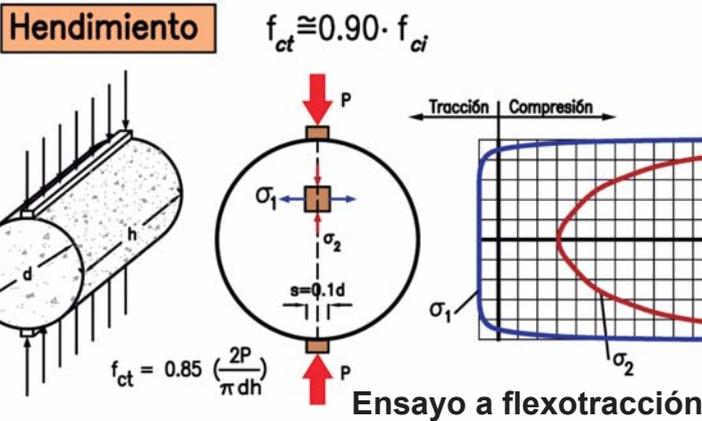
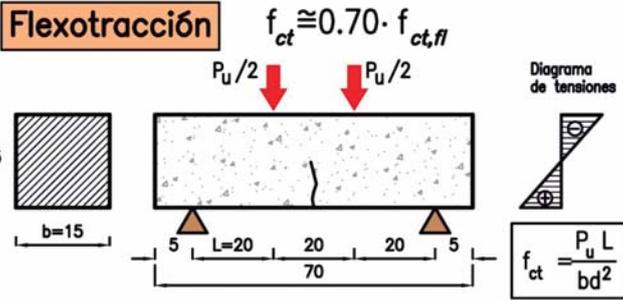
② Resistencia **característica (k)** a **tracción**:

$$f_{ct,k} = 0.21 \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{HA-25: } f_{ct,k} = 0.21 \sqrt[3]{25^2} = 1.8 \text{ N/mm}^2$$

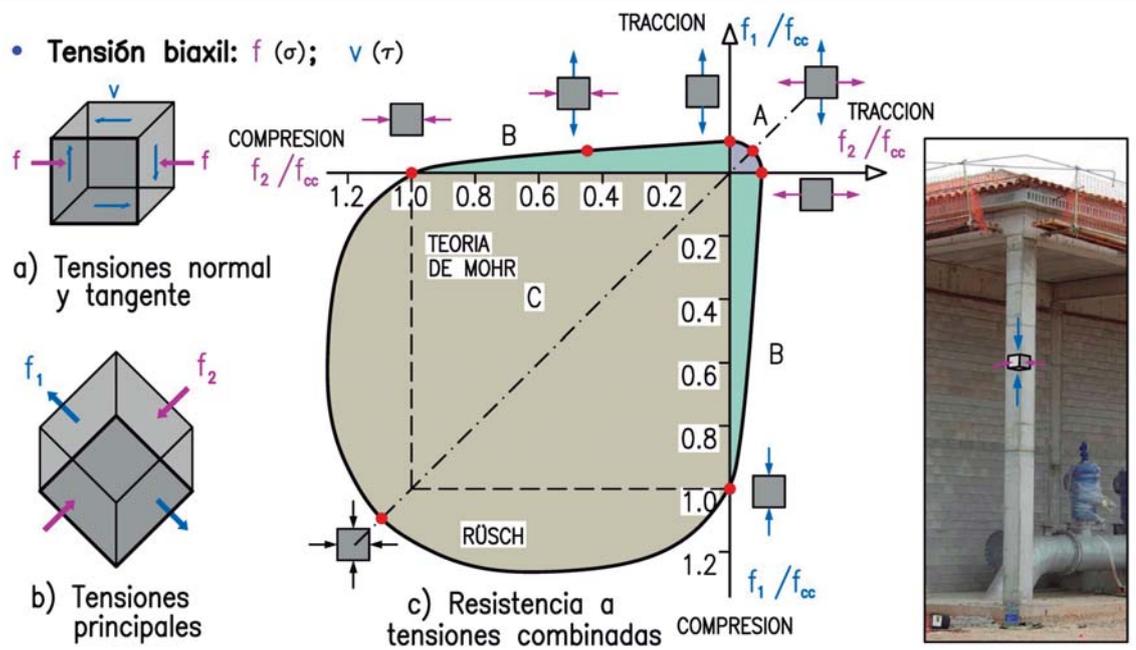
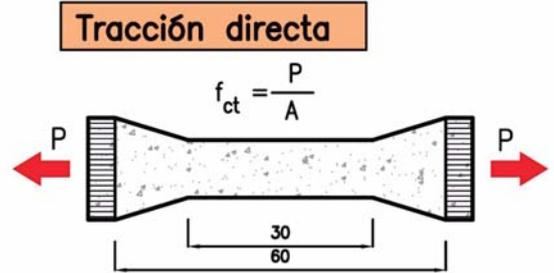
③ Resistencia **media (fl)** a **flexotracción**:

$$f_{ct,m,fl} = \max \left\{ \left(1.6 - \frac{h}{1000}\right) \cdot f_{ct,m} ; f_{ct,m} \right\} \quad \text{h=30cm.: } f_{ct,m,fl} = \left(1.6 - \frac{300}{1000}\right) \cdot f_{ct,m} = 1.3 \cdot f_{ct,m}$$

➔ Indirectos:

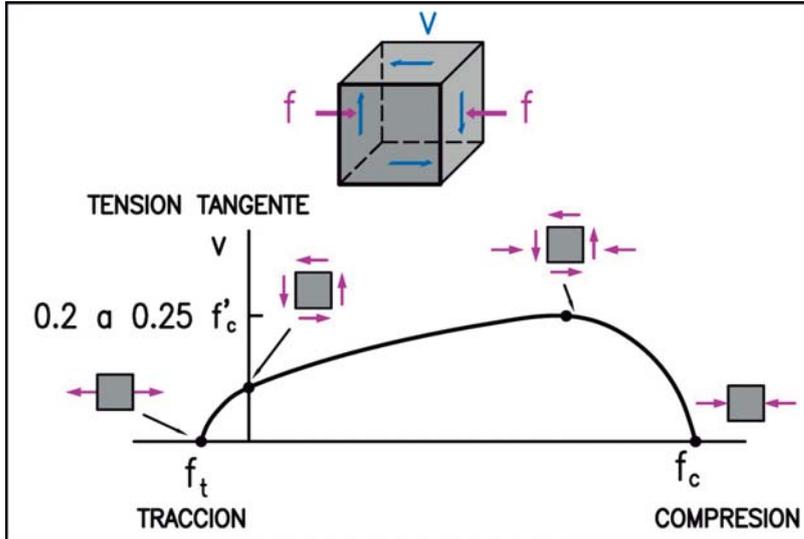


➔ Directos



- Zona A, tracción biaxial: escasa resistencia a tracciones bidireccionales
- Zona B, la tracción provoca una gran reducción de la resistencia a compresión
- Zona C: las compresiones biaxiales incrementan la resistencia a compresión. Efecto zunchado (columna comprimida de hormigón confinado)

★ Tensión normal "f" y tangente "v":



- ➔ Débil resistencia a "v" (similar a la tracción)
- ➔ En compresión, "v" disminuye la resistencia a compresión
- ➔ En cortadura, la compresión aumenta la resistencia a cortadura

Se estudia un lote de HA-25, en el que:

★ N = 4: Número de amasadas muestreadas

★ x<sub>i</sub>: [35 ,30, 28, 39]

➔ Ordenación de: x<sub>1</sub> ≤ x<sub>2</sub> ≤ ≤ x<sub>N</sub> [28 ,30, 35, 39]

➔ Aceptación lote: ▶ Caso 1: x<sub>1</sub> ≥ f<sub>ck</sub> 28 ≥ 25 Ok. Con distintivo (d.c.o.r.)

▶ Caso 2: f(x̄) = x̄ - K<sub>2</sub> r<sub>N</sub> ≥ f<sub>ck</sub> Sin distintivo

Media: x̄ = (28+30+35+39)/4 = 33

Recorrido muestral: r<sub>N</sub> = x<sub>(N)</sub> - x<sub>(1)</sub> = 39- 28 =11

	Nº de amasadas de control (N)			
Coeficiente K <sub>2</sub>	3	4	5	6
	1.02	0.82	0.72	0.66

f(x̄) = 33 - 0.82 11 = 24 ≤ 25 No válido

★ Nota: si x<sub>i</sub>: [35 ,30, 28, 35] f(x̄) = 32 - 0.82 7 = 26 > 25 Ok

Aunque al pasar 39 a 35, baja la media, al reducirse el recorrido en mayor proporción, el resultado es válido

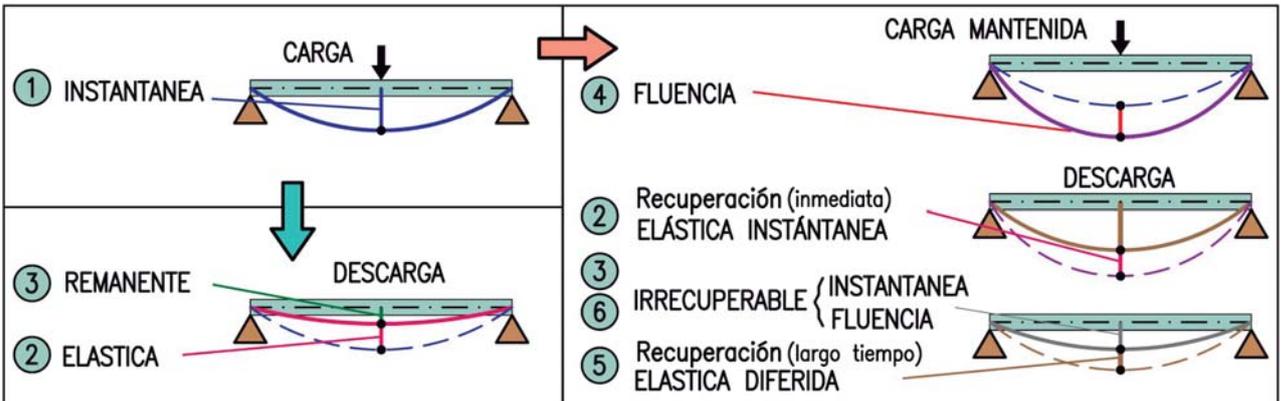
Cuando es el Caso 2, sin distintivo, el estimador es severo

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)

★ La deformabilidad del hormigón es compleja, al presentarse a la vez comportamiento elástico y de fluencia plástica

	DEPENDIENTE DE LAS CARGAS EXTERIORES		INDEPENDIENTE CARGAS EXTERIORES
	① INSTANTANEAS	④ DIFERIDAS (FLUENCIA)	
RECUPERABLES	② ELÁSTICAS	⑤ ELASTICAS DIFERIDAS	TÉRMICAS
IRRECUPERABLES	③ REMANENTES	⑥ PLASTICAS DIFERIDAS	RETRACCIÓN



Para cargas inferiores a la inicial, las deformaciones irrecuperables ya no tienen lugar.

REF.

1

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)

★ DEFINICIÓN:

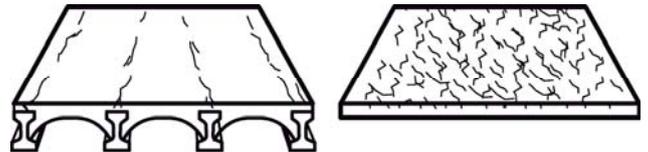
➔ Contracción del volumen de hormigón durante el fraguado y curado

★ TIPOS:

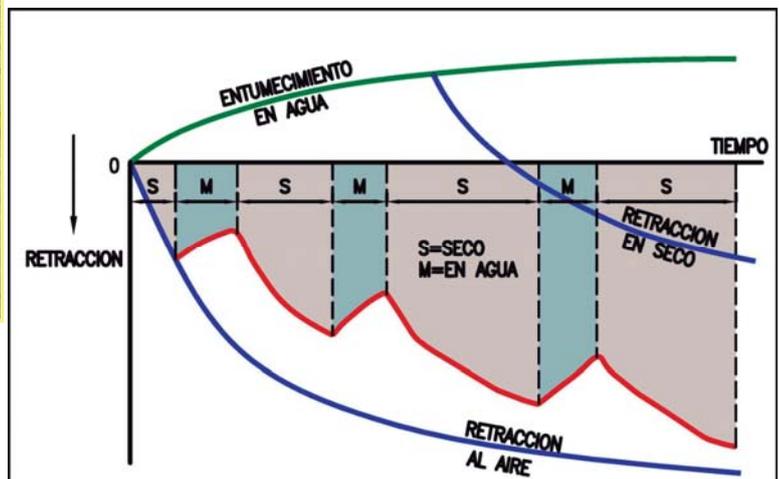
➔ Retracción plástica o de fraguado

➔ Retracción química o autógena

➔ Retracción por desecación



➔ Procesos de retracción y entumecimiento



REF.

2

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)

REF.

3

**\* Crece la retracción:**


- ▶ Al aumentar la relación AGUA/CEMENTO
- ▶ Al aumentar la relación CEMENTO/ARIDO
- ▶ Al disminuir el tamaño máximo de árido
- ▶ Según naturaleza de áridos (mayor áridos rodados)
- ▶ Al aumentar la finura de cemento
- ▶ Tipo, clase y propiedades del cemento (mayor en los más resistentes y rápidos)
- ▶ Al aumentar la presencia de finos
- ▶ Al aumentar la relación: Superficie/Volumen
- ▶ Las armaduras limitan la retracción del hormigón
- ▶ La tracción en el hormigón provocada por la armadura puede fisurarlo.

**\* ESTRUCTURAS**

- ▶ Mayor a más rigidez e intraslacionalidad
- ▶ Necesidad de juntas en muros, losas y soleras
- ▶ Necesidad de armaduras de piel o de reparto en elementos superficiales (forjados, losas, vigas de gran canto) para el control de la fisuración.

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)

REF.

4

**\* Cuantificación complicada al depender de muchas variables**
**\* Variables que considera la EHE:**

- ▶ Humedad relativa
- ▶ Espesor medio
- ▶ Tiempo transcurrido desde la ejecución

Valores de la retracción ( $10^{-6}$ )												
t-t <sub>s</sub> (días)	Humedad relativa (%)											
	50			60			70			80		
	Espesor medio e (mm)											
	50	150	600	50	150	600	50	150	600	50	150	600
14	-193	-69	-17	-173	-61	-15	-145	-51	-13	-107	-38	-10
30	-262	-99	-25	-235	-89	-23	-197	-75	-19	-146	-55	-14
90	-369	-166	-44	-331	-149	-39	-277	-125	-33	-206	-93	-24
365	-466	-292	-87	-417	-262	-78	-350	-219	-65	-260	-163	-49
1825	-507	-434	-185	-454	388	-165	-381	-326	-139	-283	-242	-103
10000	-517	-499	-345	-463	-448	-309	-388	-375	-259	-288	-279	-192

**\* Espesor medio:  $e = 2 \cdot A_c / u$  (en mm) ;  $A_c$  área de la sección recta**

$p$ : perímetro exterior de la pieza

**\* Ejemplo: Sección 35x25, humedad 70%, 5 años. Espesor medio 146 mm.**

$$\varepsilon = 0.33 \cdot 10^{-3} \text{ (0.33 mm/m)}$$

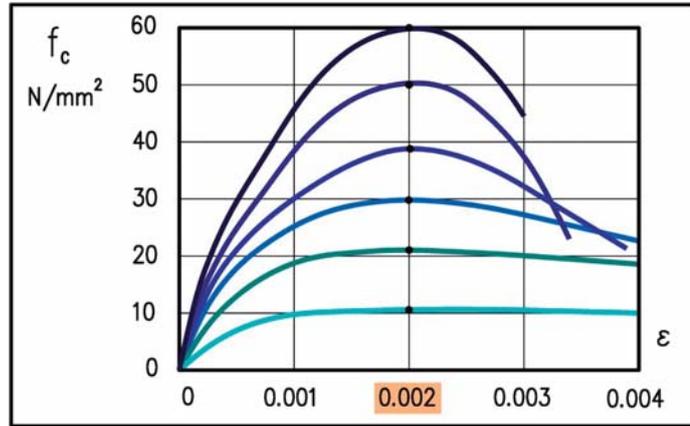
**\* Valor promedio que podría considerarse:  $\varepsilon = 0.00035$  (0.35 mm/m) para HM**

$$\varepsilon = 0.00025 \text{ (0.25 mm/m) para HA}$$



- ★ **DEPENDE DE:**
  - ▶ Resistencia a compresión  $f_c$
  - ▶ Duración de la carga
  - ▶ Edad del hormigón
  - ▶ Forma y tipo de la sección
  - ▶ Naturaleza de la sollicitación

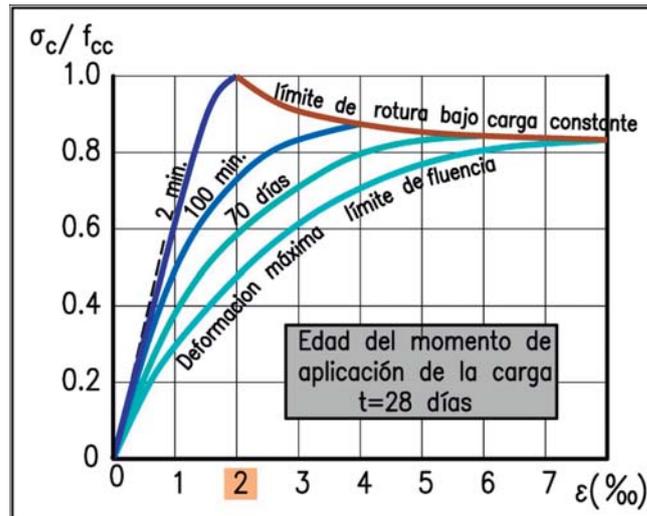
★ **DIAGRAMA TENSION-DEFORMACION:**



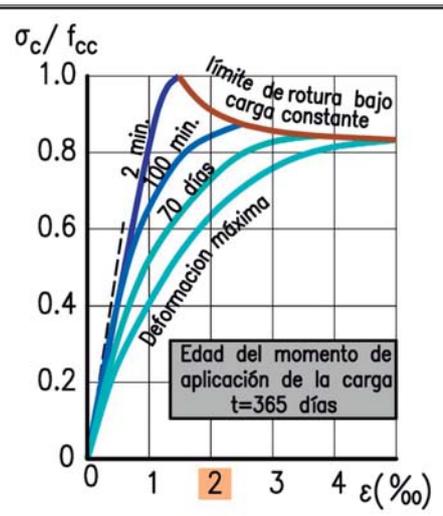
- ▶ ↑ Resistencia → ↓ Acortamiento a la rotura (más frágil)
- ▶ Caída de resistencia más notable en hormigones más resistentes
- ▶ Máximo de resistencia para un acortamiento del 2 por mil



▶ **Duración de la carga**



▶ **Edad del hormigón**



$\sigma_c$ : Tensión en el hormigón en función de la duración de la carga y edad del hormigón  
 $f_{cc}$ : Resistencia a la rotura del hormigón del ensayo normalizado (2 min. a los 28 días)

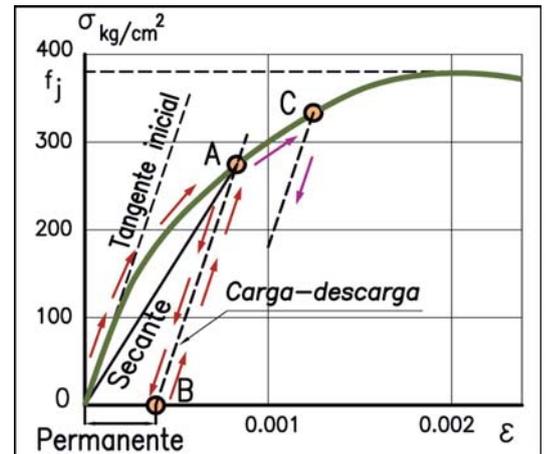
- ▶ ↑ Duración → ↑ Acortamiento a la rotura (menos frágil) (**FLUENCIA**)
- ▶ **CANSANCIO del hormigón:** Descenso del límite de rotura bajo carga constante
- ▶ ↑ Edad → ↓ Acortamiento a la rotura; ↑ Pendiente en el origen (↑ E)
- ▶ **Límite de fluencia:** carga fija aplicada mucho tiempo que provoca la rotura

★ **DEFINICION MODULO E:** Pendiente de la curva del diagrama  $\sigma/\epsilon$

- ▶ **Tangente:** Pendiente en un punto
- ▶ **Secante:** Entre el origen y un punto  
*Ambos variables y decrecientes.*
- ▶ **Inicial:** Pendiente en el origen  
*Valor fijo.*

★ **Proceso de carga/descarga**

- ▶ Se inicia en la curva  $\sigma/\epsilon$  hasta la carga aplicada A
- ▶ Descarga: según una recta **paralela** al módulo tangente inicial
- ▶ Punto final B: existe una deformación permanente (remanente, no recuper.)
- ▶ Nuevos procesos de carga: parten de B y siguen la recta (es **lineal**  $E = Cte$ )
- ▶ Si la carga C > A, vuelve a tomar la curva  $\sigma/\epsilon$  hasta la carga aplicada C. Descarga: ↑ deformación permanente
- ▶ Módulo secante: "**engloba**" la deformación *instantánea elástica* y la *permanente*
- ▶ Resumen: tras procesos carga-descarga, el hormigón se comporta elásticamente



★ **MÓDULO DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL SECANTE  $E_{cm}$ :**

- ▶ Pendiente de la recta que une el origen con un punto determinado de la curva  $\sigma/\epsilon$

$$E_{cm} (\text{N/mm}^2) = 8500 \sqrt[3]{f_{cm} (\text{N/mm}^2)}$$

★ **MÓDULO DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL INICIAL  $E_c$ :**

- ▶ Pendiente de la curva  $\sigma/\epsilon$  en el origen

$$E_c (\text{N/mm}^2) = \beta_E \cdot E_{cm} \quad ; \quad \beta_E = 1.175$$

$$E_c = 10000 \sqrt[3]{f_{cm} (\text{N/mm}^2)}$$

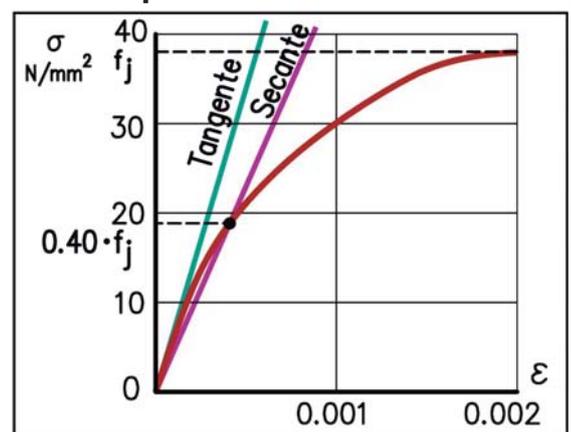
➔ **EJEMPLO:**

**Hormigón HA-25 ; j = 28 días.**

Secante:  $E_{cm} = 8500 \sqrt[3]{25 + 8} = 27264 \text{ N/mm}^2$

Inicial:  $E_c = 1.175 \cdot 27264 \text{ N/mm}^2 = 32035 \text{ N/mm}^2$

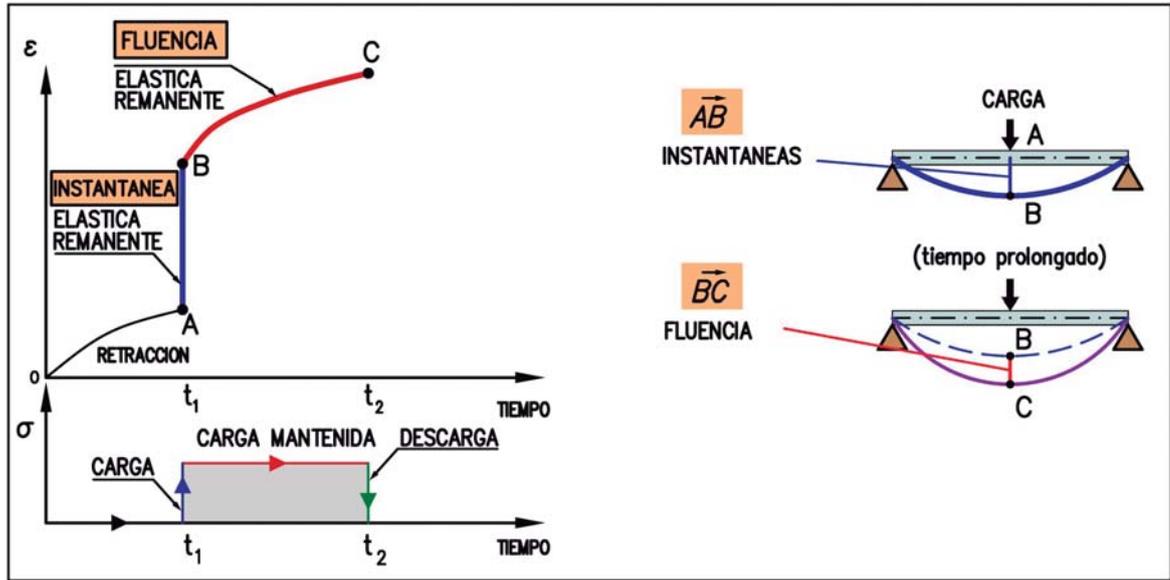
- ▶ Como  $E_{cm}/E_c = 1/1.175 = 0.85$ , las remanentes son un 15% de las totales



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACION, DURABILIDAD)

- \* **DEFINICIÓN:** Deformación a lo largo del tiempo debida a una acción constante
- \* **Proceso de carga**



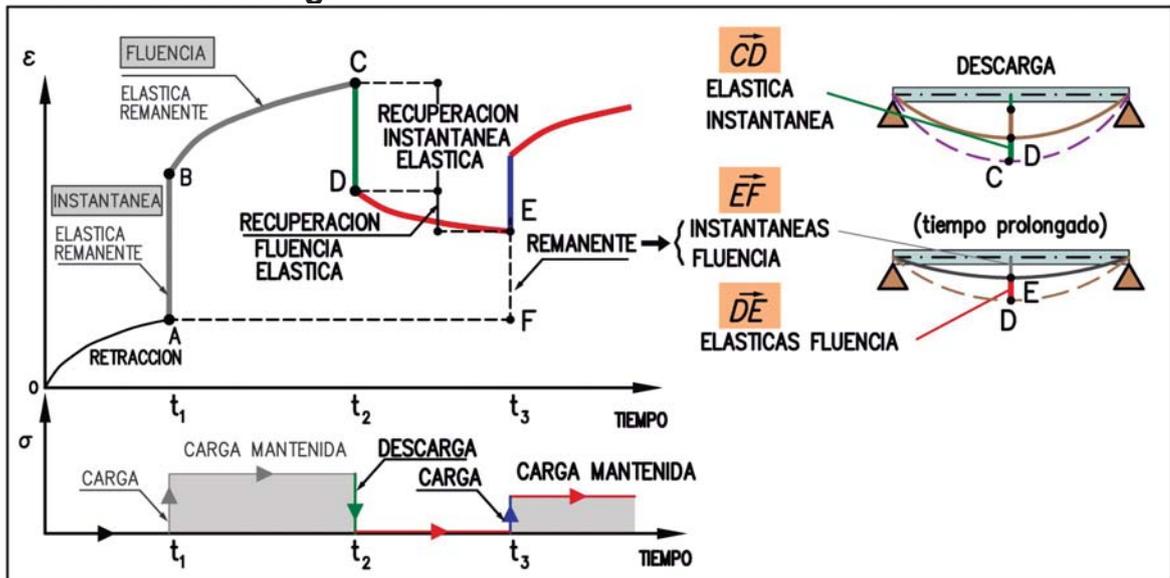
- ▶ **Tramo OA:** Retracción
- ▶ **Tramo AB:** Deformaciones instantáneas: reversibles e irreversibles
- ▶ **Tramo BC:** Fluencia o deformaciones diferidas: reversibles e irreversibles

REF. 9

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACION, DURABILIDAD)

- \* **Proceso de descarga**



- ▶ **Tramo CD:** Recuperación cargas instantáneas:  $\epsilon_{CD} < \epsilon_{AB}$
- ▶ **Tramo DE:** Recuperación diferidas (fluencia):  $\epsilon_{DE} < \epsilon_{BC}$
- ▶ **Tramo EF:** Deformaciones permanentes  
No vuelven a presentarse para cargas que no superen la inicial

REF. 10

- \* **Cuantificación complicada al depender de muchas variables:**
  - ▶ Deformación elástica instantánea
  - ▶ Clase de hormigón. Resistencia. Composición
  - ▶ Grado de humedad del ambiente exterior
  - ▶ Edad del hormigón al entrar en carga
  - ▶ Espesor de la pieza ( o *relación* entre su volumen y superficie)
- \* **Según la EHE-08:**  
Proporcional a la deformación elástica instantánea para  $\sigma(t_0) < 0.45 \cdot f_{cm}$

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{\sigma(t_0)}{E_{c,t_0}} + \frac{\sigma(t_0)}{E_{c,28}} \cdot \varphi(t, t_0)$$

$\varphi(t, t_0)$ : Coeficiente de fluencia hormigón HA-25, t = 10000 días

Edad de puesta en carga $t_0$ (días)	Humedad relativa (%)											
	50			60			70			80		
	Espesor medio e (mm)											
	50	150	600	50	150	600	50	150	600	50	150	600
1	6.2	5.1	4.1	5.5	4.6	3.8	4.8	4.1	3.5	4.0	3.6	3.2
7	4.4	3.5	2.9	3.8	3.2	2.7	3.3	2.9	2.4	2.8	2.5	2.2
14	3.8	3.1	2.5	3.4	2.8	2.3	2.9	2.5	2.1	2.5	2.2	1.9
28	3.4	2.8	2.2	3.0	2.5	2.0	2.6	2.2	1.9	2.2	1.9	1.7
60	2.9	2.4	1.9	2.6	2.1	1.8	2.2	1.9	1.6	2.0	1.7	1.5
90	2.7	2.2	1.8	2.4	2.0	1.6	2.1	1.8	1.5	1.8	1.6	1.4
365	2.1	1.7	1.4	1.8	1.5	1.3	1.6	1.4	1.2	1.3	1.2	1.0
1800	1.5	1.2	1.0	1.3	1.1	0.9	1.2	1.0	0.8	1.0	0.9	0.8

Elástica:  $\frac{\sigma(t_0)}{E_{c,t_0}}$

Fluencia:  $\frac{\sigma(t_0)}{E_{c,28}} \cdot \varphi(t, t_0)$

- ▶ **Espesor medio:**  
 $e = 2 \cdot A_c / u$  (mm)  
 $A_c$  : área sección  
 $u$ : Perímetro exterior

- \* **Calcular la deformación a los 10000 días de un hormigón:**
  - ▶ HA-25 con humedad del 70%
  - ▶ Sección 35x25 (espesor medio 146 mm)
  - ▶ La acción exterior se aplicó a los  $t_0 = 28$  días
  - ▶ La tensión en el hormigón es  $\sigma(t_0) = 10 \text{ N/mm}^2$   
 $\sigma(t_0) = 10 < 0.45 \cdot f_{cm} = 0.45 \cdot (25 + 8) = 14.8 \text{ N/mm}^2$

**RESOLUCION:**

$\varphi(t, t_0) = 2.21$  (Tabla →)

$E_{cj} = 1.175 \cdot 8500 \cdot \sqrt[3]{25 + 8} = 32035 \text{ N/mm}^2$

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{\sigma(t_0)}{E_{c,t_0}} + \frac{\sigma(t_0)}{E_{c,28}} \cdot \varphi(t, t_0)$$

$$= \frac{10}{32035} + \frac{10}{32035} \cdot 2.21 = 1 \cdot 10^{-3}$$

Las deformaciones elásticas aumentan por 2.21

$\varphi(t, t_0)$ : Coeficiente de fluencia para hormigón HA-25

$t_0$ (días)	Humedad relativa (%)											
	50			60			70			80		
	Espesor medio e (mm)											
	50	150	600	50	150	600	50	150	600	50	150	600
1	6.2	5.1	4.1	5.5	4.6	3.8	4.8	4.1	3.5	4.0	3.6	3.2
7	4.4	3.5	2.9	3.8	3.2	2.7	3.3	2.9	2.4	2.8	2.5	2.2
14	3.8	3.1	2.5	3.4	2.8	2.3	2.9	2.5	2.1	2.5	2.2	1.9
28	3.4	2.8	2.2	3.0	2.5	2.0	2.6	2.2	1.9	2.2	1.9	1.7
60	2.9	2.4	1.9	2.6	2.1	1.8	2.2	1.9	1.6	2.0	1.7	1.5
90	2.7	2.2	1.8	2.4	2.0	1.6	2.1	1.8	1.5	1.8	1.6	1.4
365	2.1	1.7	1.4	1.8	1.5	1.3	1.6	1.4	1.2	1.3	1.2	1.0
1800	1.5	1.2	1.0	1.3	1.1	0.9	1.2	1.0	0.8	1.0	0.9	0.8

- ★ **Consiste en estimar un valor aproximado del módulo de deformación para un cálculo aproximado de la flecha teniendo en cuenta la fluencia**
- 1) Se propone un *historial de cargas*. Por ejemplo, en edificación:
  - G y 0.3·S se aplicaron a los 28 días de edad
  - La sobrecarga 0.3·S se considera que está siempre presente
  - La sobrecarga 0.7·S se ha alcanzado el día 10000 (30 años)
- 2) Desarrollando la expresión de la deformación  $\epsilon_{c,to}$  para G, 0.3·S y 0.7·S, se obtiene la expresión:

$$E' = \frac{E_c \cdot \left(1 + \frac{S}{G}\right)}{1 + \varphi + \frac{S}{G} \cdot (1.31 + 0.35\varphi)}$$

- 3) Aplicado al caso que G = 4.5 kN/m<sup>2</sup> y S = 2 kN/m<sup>2</sup>, HA-25 y  $\varphi = 2.21$ :

$$E' = \frac{32075 \cdot \left(1 + \frac{2}{4.5}\right)}{1 + 2.21 + \frac{2}{4.5} \cdot (1.31 + 0.35 \cdot 2.21)} \approx 11200 \text{ N/mm}^2$$

- El módulo de deformación inicial del hormigón casi se reduce a la tercera parte
- Una evaluación correcta de la flecha debe considerar la pérdida de rigidez por fisuración (Tema 14)

★ **DEFINICIÓN:**

Es la resistencia a la degradación de una estructura en condiciones de servicio, producida por acciones físicas o químicas de origen ambiental o causas internas, durante la vida útil de la obra

★ **Compacidad del hormigón:**

Baja relación agua/cemento ; contenido mínimo de cemento ; buena puesta en obra

★ **Clasificación tipos de Ambiente:**

Clase general de exposición: corrosión de armaduras

Clase específica de exposición: otros tipos de deterioro del hormigón



① **ATAQUE POR SULFATOS**

- ▶ **Origen:** Suelos y aguas selenitosas. Agua del mar.
- ▶ **Reacción:** Sulfato reacciona con  $C_3A$  y  $(OH)_2Ca$
- ▶ **Consecuencias:** Aumento de volumen y disgregación
- ▶ **Medidas:** Cementos ↓  $C_3A$  como: SR, puzolánicos, siderúrgicos, etc.

② **CARBONATACIÓN**

- ▶ **Origen:** Agua (de lluvia, humedades) con  $CO_2$
- ▶ **Reacción:** Lixiviación del  $(OH)_2Ca$  por el  $CO_2$
- ▶ **Consecuencias:** ↓ pH, pérdida de Ca, ↑ retracción, corrosión armaduras  
Aumento de volumen y disgregación.
- ▶ **Medidas:** Medidas constructivas, ↑ compacidad, recubrimientos

③ **CLORUROS**

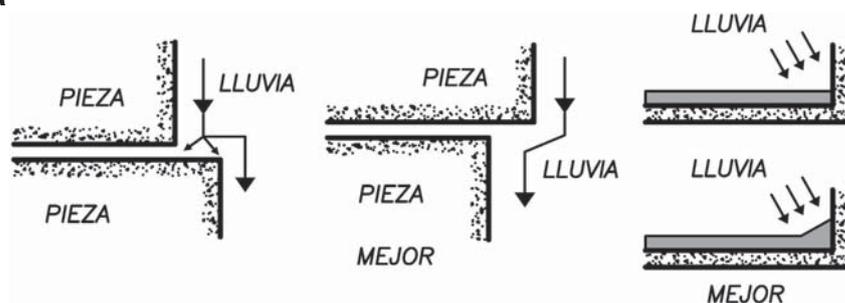
- ▶ **Origen:** Marino, piscinas, depuradoras, desaladoras, nieve, etc.
- ▶ **Reacción:** Reducción del pH
- ▶ **Consecuencias:** Corrosión de armaduras
- ▶ **Medidas:** Medidas constructivas, ↑ compacidad, recubrimientos

④ **EFFECTOS DE LAS HELADAS**

⑤ **EROSIÓN**

⑥ **REACTIVIDAD ALCALI-ARIDO**

- ➔ Selección de formas estructurales y constructivas correctas. Evacuación del agua



- ➔ Calidad adecuada del hormigón: materias primas, dosificación, puesta en obra, curado, resistencia. Respetar la relación  $A/C_{max}$  y  $C_{min}$
- ➔ Recubrimientos: el hormigón que envuelve la armadura, la protege
- ➔ Control del valor máximo de abertura de fisura  $w_{max}$  (Tema 14):  
0.4 mm: no agresivo ; 0.3 agresividad media ; 0.2 a 0.1, muy agresivo
- ➔ Protecciones superficiales (revestimientos: pinturas, láminas asfálticas, etc.)
- ➔ Medidas para evitar la corrosión de armaduras:
  - ▶ Galvanizado (recubrimiento con Zn)
  - ▶ Acero inoxidable
  - ▶ Protección catódica. Aditivos inhibidores de la corrosión

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08) TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)	<b>* CLASE GENERAL DE EXPOSICIÓN:</b> En relación a la corrosión de armaduras. Se clasifica en una única clase				
	CLASE	SUBCLASE	Desig	Tipo de proceso	EJEMPLOS
	NO AGRESIVA		I	Ninguno	- Interiores de edificios - Hormigón en masa
	NORMAL	Humedad alta	IIa	Corrosión de origen diferente a los cloruros	- Interiores HR > 65%. Condensaciones - Sótanos no ventilados - Exteriores precip. media anual > 600 mm. - Cubiertas - Cimentaciones
		Humedad media	IIb		- Exteriores protegidos de la lluvia - Exteriores precip. media anual < 600
	MARINA	Aérea	IIIa	Corrosión por cloruros	- Edificios cerca de la costa - Instalaciones portuarias
		Sumergida	IIIb		- Zonas sumergidas de diques, pilas, cimentaciones en el mar.
		Zona de mareas	IIIc		- Construcciones situadas en las zonas de recorrido de las mareas
	CLORUROS DE ORIGEN NO MARINO		IV	Corrosión por cloruros	- Piscinas - Estaciones de tratamiento de agua - Si existen sales de deshielo (nieve)
	REF.	17			

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08) TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON (DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)	<b>* CLASE ESPECIFICA DE EXPOSICIÓN:</b> Otros procesos distintos a la corrosión. Puede clasificarse en varias clases				
	CLASE	SUBCLASE	Desig	Tipo de proceso	EJEMPLOS
	QUÍMICA AGRESIVA	Débil*	Q <sub>a</sub>	Ataque químico	- Instalaciones industriales o cercanas con sustancias de agresividad débil
		Media*	Q <sub>b</sub>		- Instalaciones industriales o cercanas con sustancias de agresividad media - Obras en contacto con agua marina - Aguas residuales de agresividad medi
		Fuerte*	Q <sub>c</sub>		- Instalaciones industriales o cercanas con sustancias de agresividad alta - Aguas residuales de agresividad alta
	CON HELADAS	Sin sales fundentes	H	Ataque hielo-deshielo	- Construcciones en alta montaña - Estaciones invernales
		Con sales fundentes	F	Ataque por sales fundentes	- Elementos destinados al tráfico de vehículos en zonas de alta montaña
	EROSION		E	Corrosión por cloruros	- pavimentos de hormigón - Tuberías de alta presión - Elementos en cauces torrenciales - Elementos en zona de fuertes oleajes
	REF.	18			

\*Ver Tabla 4.9: clasificación de la agresividad del suelo: Q<sub>a</sub>, Q<sub>b</sub>, Q<sub>c</sub>.

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 4 : PROPIEDADES DEL HORMIGON  
(DEFORMACIÓN, DURABILIDAD)

- ★ REQUISITOS DE DOSIFICACIÓN:
- ➔ Máxima relación agua/cemento:  $A/C_{\text{máximo}}$
- ➔ Mínimo contenido de cemento ( $\text{kg/m}^3$  hormigón)

Hormigón armado	CLASES GENERALES						
	I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV
$A/C_{\text{máximo}}$	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.50
$C_{\text{mínimo}}$	250	275	300	300	325	350	325

Hormigón	CLASES ESPECÍFICAS						
	$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	H	F	E	
$A/C_{\text{máximo}}$	0.50	0.50	0.45	0.55	0.50	0.50	
$C_{\text{mínimo}}$	Masa	275	300	325	275	300	275
	Armado	325	350	350	300	325	300



REF. 19

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 5 : ARMADURAS

- ★ Tipos de aceros para armaduras pasivas:
  - ➔ Barras rectas o rollos de acero **corrugado** soldable
  - ➔ Alambres de acero **corrugado** soldable
  - ➔ Alambres lisos de acero soldable



★ BARRAS CORRUGADAS DE ACERO

Producto macizo que tras la laminación en caliente se le imprimen resaltos

**6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 32 - 40 mm**

➔ Sección maciza equivalente ( $\text{cm}^2$ ) =  $\text{Peso (kg/m)} / 0.785$  ( $A = \pi \cdot \phi^2 / 4$ )

DIAMETRO (mm)	PESO (kg/ml)	NUMERO DE BARRAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0.15	0.19	0.39	0.59	0.78	0.98	1.18	1.38	1.57	1.77
6	0.22	0.28	0.56	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54
8	0.40	0.50	1.00	1.51	2.01	2.51	3.01	3.52	4.02	4.52
10	0.62	0.79	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07
12	0.89	1.13	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.91	9.05	10.18
14	1.21	1.54	3.08	4.62	6.16	7.70	9.24	10.77	12.32	13.86
16	1.58	2.01	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.09
20	2.47	3.14	6.28	9.42	12.57	15.71	18.84	21.99	25.14	28.28
25	3.85	4.91	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18
32	6.31	8.04	16.08	24.13	32.17	40.21	48.26	56.30	64.34	72.38
40	9.87	12.56	25.13	37.70	50.26	62.83	75.40	87.96	100.50	113.10

REF. 1

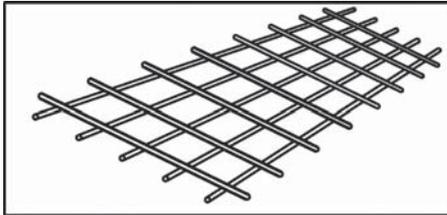
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 5 : ARMADURAS

★ **Alambres corrugados y lisos:**

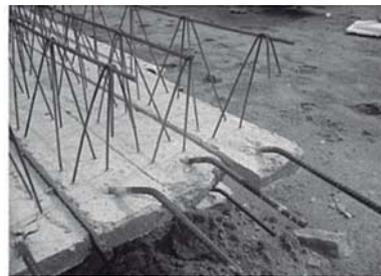
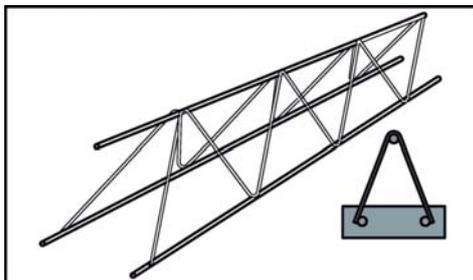
**4/4.5/5/5.5/6/6.5/7/7.5/8/8.5/9/9.5/10/11/12/14/16**

Se fabrica por el proceso de estirado y laminación en frío y puede suministrarse en rollo

➔ **Malla electrosoldada:**



➔ **Armatura básica electrosoldada en celosía:**



REF. 2

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 5 : ARMADURAS

▶ **Mejora de la calidad del acero por aumento del límite elástico: ↑  $f_y$**

- ➔ **Aumento de la tensión de trabajo**
- ➔ **Da lugar a un aumento de alargamiento ( $\epsilon = f_y/E$ )**
- ➔ **Aumento de la amplitud de fisuración del hormigón**

▶ **Mejora de la adherencia hormigón/acero**

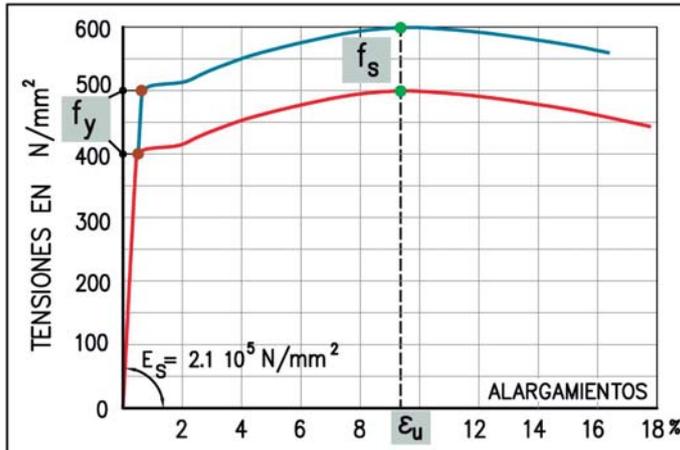
- ⊗ **↑ N° de fisuras más repartidas**
- ⊗ **↓ ancho de fisura**
- ⊗ **Certificación de adherencia. La homologación en laboratorio al comprobar:**
  - Los valores límites de variación de altura de resaltos (geometría)
  - Ensayo de adherencia por flexión

▶ **Obtención del límite elástico  $f_y$ :**

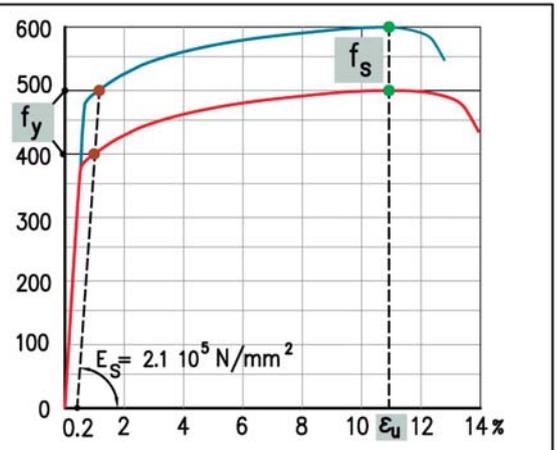
- **Ensayo a tracción**
- **Tipos de acero:**
  - **Aceros de dureza natural: es el más habitual**
  - **Aceros estirados en frío: tratamiento físico en frío de estirado o retorcido de varillas, propio de alambres (pretensado)**

REF. 3

⊗ **Aceros de dureza natural**  
Composición adecuada del acero



⊗ **Aceros estirados en frío**  
Tratamientos físicos en frío



★ **DIAGRAMA  $\sigma/\epsilon$**

- ▶ Resistencia a carga unitaria de rotura  $f_s$
- ▶ Límite elástico  $f_y$
- ▶ Relación  $f_s/f_y$
- ▶ Alargamiento a la rotura:  $100 \cdot (L-L_0 / L_0)$
- ▶ Alargamiento bajo carga máxima  $\epsilon_u$
- ▶ Límite elástico convencional: deformación permanente del 0.2%
- ▶ Límite elástico aparente: escalón de fluencia

★ **ACERO PARA BARRAS CORRUGADAS**

- ▶ Aumento de la adherencia mediante resaltes en la superficie del acero
- ▶ Requisitos:
  - ▶ Adherencia suficiente
  - ▶ Características mecánicas resistentes que superen

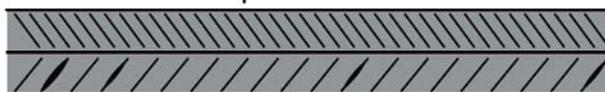
Tipo de acero	Soldable		Soldable con ductilidad	
	Designación	B400S	B500S	B400SD
Límite elástico, $f_y$ (MPa)	$\geq 400$	$\geq 500$	$\geq 400$	$\geq 500$
Resistencia rotura, $f_s$ (Mpa)	$\geq 440$	$\geq 550$	$\geq 480$	$\geq 575$
Alargamiento rotura, $\epsilon_{u,5}$ (%)	$\geq 14$	$\geq 12$	$\geq 20$	$\geq 16$
Alarg. carga máxima $\epsilon_{max}$ (%)	$\geq 5.0$	$\geq 5.0$	$\geq 7.5$	$\geq 7.5$
Valor mínimo $f_s/f_y$	1.05	1.05	1.20	1.15



★ **ACERO PARA ALAMBRES CORRUGADOS Y LISOS**

Designación	Límite elástico $f_y$ (MPa)	Carga unitaria $f_s$ (MPa)	Alargamiento rotura (%)	Relación $f_s/f_y$
B 500 T	500	550	8	1.03

Tipo B400S ó SD



Tipo B500S ó SD



Comienzo País (España:7) Código del fabricante

Comienzo País (España:7) Código del fabricante



ASUNTO  
HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA  
TEMA 5 : ARMADURAS

REF.  
6

**Otros requisitos:**

- ▶ Ausencia de GRIETAS en el ensayo doblado-desdoblado
- ▶ APTITUD PARA EL SOLDEO: Dependiente de la composición química.
- ▶ Ensayo de FATIGA (B400SD, B500SD)
- \* Aceros de  $f_y > 500 \text{ N/mm}^2$  provocarían una gran fisuración a plena carga
- \* En ciertos casos (cortante, fisuración, soportes) se limita la tensión a  $400 \text{ N/mm}^2$   
En estas situaciones, el acero B500S tiene un ligero desaprovechamiento
- \* MEJORA DE LA DUCTILIDAD
  - ▶ Evitar roturas frágiles  
*Aviso ruina inminente.*
  - ▶ Redistribución de esfuerzos (cálculo plástico)  
*Migran a zonas menos solicitadas*
  - ▶ Capacidad de disipación de energía (sismo)  
*Cargas que provocan vibraciones, sacudidas*



ASUNTO  
HORMIGON ARMADO (EHE-08)

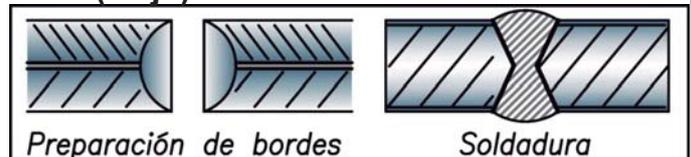
TEMA  
TEMA 5 : ARMADURAS

REF.  
7

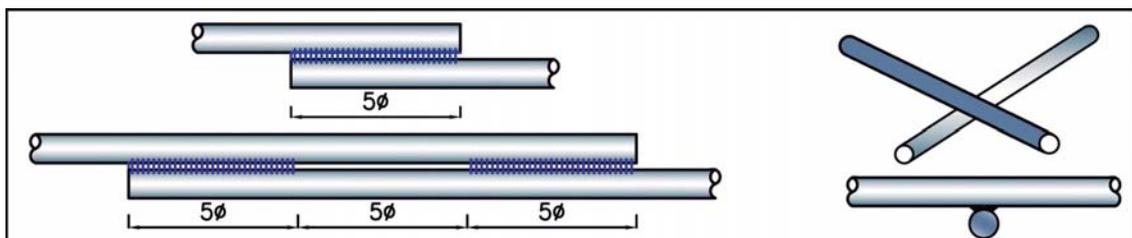
- \* APTITUD PARA EL SOLDEO  
Depende de la composición química (azufre, fósforo, carbono, nitrógeno)

- ▶ **A tope por resistencia eléctrica**  
En taller y sin material de aportación.  
Se unen las barras con un golpe seco (forja)

- ▶ **A tope por arco eléctrico**  
Con material de aportación  
Preparación simétrica (en X)



- ▶ **Por solapo de cordones longitudinales**  
Mediante arco eléctrico con electrodo. No debe exceder de  $5\phi$   
Longitud necesaria para igualar el cortante a la carga de rotura de la barra



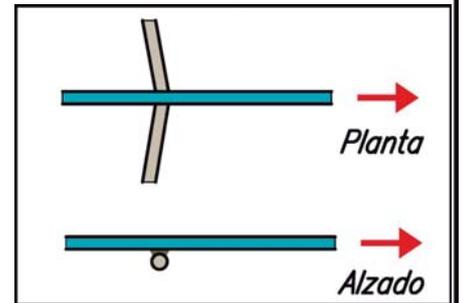
- ▶ **Soldeo en cruz por arco eléctrico**  
Mallazos electrosoldados

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 5 : ARMADURAS

**\* DEFINICIÓN**

Consiste en una retícula ortogonal de alambres corrugados unidos en sus puntos de contacto con soldadura, fabricado en una instalación industrial

- ▶ **Adecuadas en elementos superficiales**  
Muros, soleras, forjados, losas, zapatas, depósitos
- ▶ **Fácil y rápida colocación en obra**
- ▶ **Mejora el anclaje al existir armadura transversal**
- ▶ **Puede usarse cualquier tipo de acero**
- ▶ **Geometría: normalizadas y bajo pedido**  
Cuadradas: 15x15, 20x20, 25x25, etc.  
Rectangulares: 20x15, 30x20, 30x15, etc.
- ▶ **La carga de despegue de la soldadura debe ser al menos 1/4 de la resistencia a tracción de la barra**



REF. 8

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 5 : ARMADURAS

**\* DEFINICIÓN**

Producto del área de la sección transversal por su resistencia de cálculo (Resistencia característica dividida por un coeficiente de minoración  $\gamma_s$ ):

$$U_s = A_s \times f_{yd} \quad \text{siendo} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$\phi$ (mm)	NUMERO DE BARRAS (n)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	12.29	24.59	36.88	49.17	61.47	73.76	86.05	98.35	110.64
8	21.85	43.71	65.56	87.42	109.27	131.13	152.98	174.84	196.69
10	34.15	68.30	102.44	136.59	170.74	204.89	239.03	273.18	307.33
12	49.17	98.35	147.52	196.69	245.86	295.04	344.21	393.38	442.55
14	66.93	133.86	200.79	267.72	334.65	401.58	468.51	535.44	602.37
16	87.42	174.84	262.25	349.67	437.09	524.51	611.93	699.35	786.76
20	136.59	273.18	409.77	546.36	682.95	819.55	956.14	1092.73	1229.32
25	213.42	426.85	640.27	853.69	1067.12	1280.54	1493.96	1707.39	1920.81
32	349.67	699.35	1049.02	1398.69	1748.36	2098.04	2447.71	2797.38	3147.05
40	546.36	1092.73	1639.09	2185.45	2731.82	3278.18	3824.54	4370.91	4917.27

CAPACIDAD MECÁNICA (kN), **B500S**,  $\gamma_s = 1.15$  [ $U_s = n \cdot (\pi \cdot \phi^2 / 4) \cdot (0.5 / 1.15)$ ]

REF. 9

★ Sea una barra recta de acero en el interior de una masa de hormigón:

$\tau_{bm}$  : Tensión tangencial media de adherencia

$\sigma_s$ : Tensión en la barra de acero

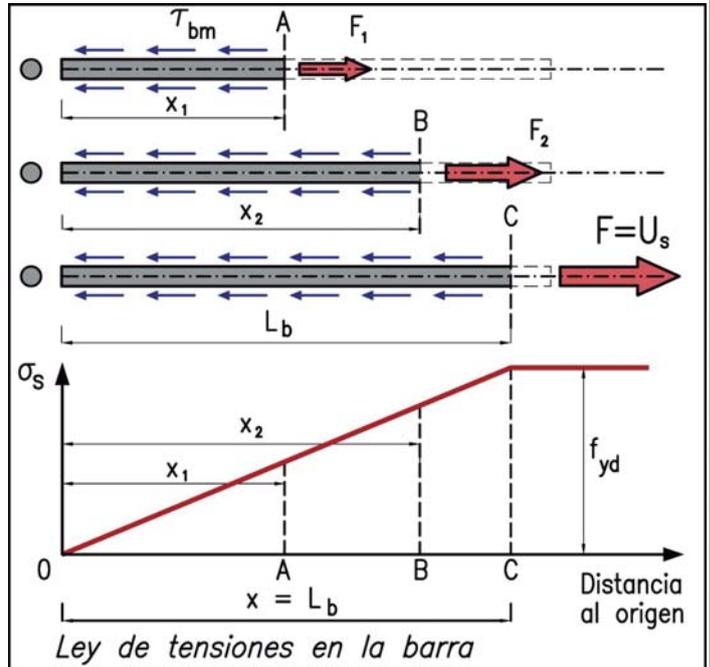
Equilibrio de fuerzas horizontales en la barra o armadura:

$$F = A_s \cdot \sigma_s = p \cdot x \cdot \tau_{bm}$$

$A_s$ : Area de la sección transversal

$\phi$ : Diámetro

$p$ : Perímetro



★ **ANCLAJE:**

Longitud necesaria  $L_b$  para una barra de acero rodeada de hormigón, tal que sea capaz de desarrollar toda su capacidad mecánica

$$F = A_s \cdot \sigma_s = p \cdot x \cdot \tau_{bm}$$

$$U_s \quad \sigma_s = f_{yd} \quad x = L_b$$

$$U_s = A_s \cdot f_{yd} = p \cdot L_b \cdot \tau_{bm} \quad \rightarrow$$

$$L_b = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{\tau_{bm}}$$

★ **TENSION MEDIA DE ADHERENCIA:**

► **Barras lisas (pernos de anclaje de una basa de un pilar metálico):**

$$\tau_{bd} = \frac{1.2}{\gamma_c} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

► **Barras corrugadas:**

Depende del diámetro de la barra, calidad del hormigón y de la propia longitud de anclaje

Se usan fórmulas empíricas

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 6 : ANCLAJE Y ADHERENCIA

REF. 3

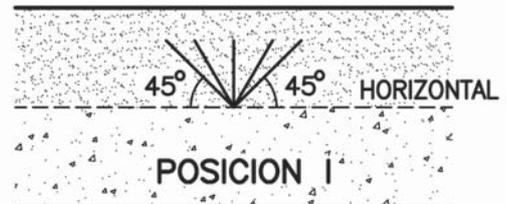
La adherencia de una barra de acero depende de en qué zona de la viga se encuentre y su orientación:

- En la parte inferior queda más unida al hormigón al resultar más compacto
- Si es vertical queda más *en contacto con el hormigón*

La EHE-08 divide a las barras de acero en dos posiciones respecto a la adherencia:

★ **POSICION I DE BUENA ADHERENCIA:**

- ▶ Elemento horizontal con canto total inferior a 60 cm: la mitad inferior y armaduras con inclinaciones de ángulo superior a 45° (estribos)

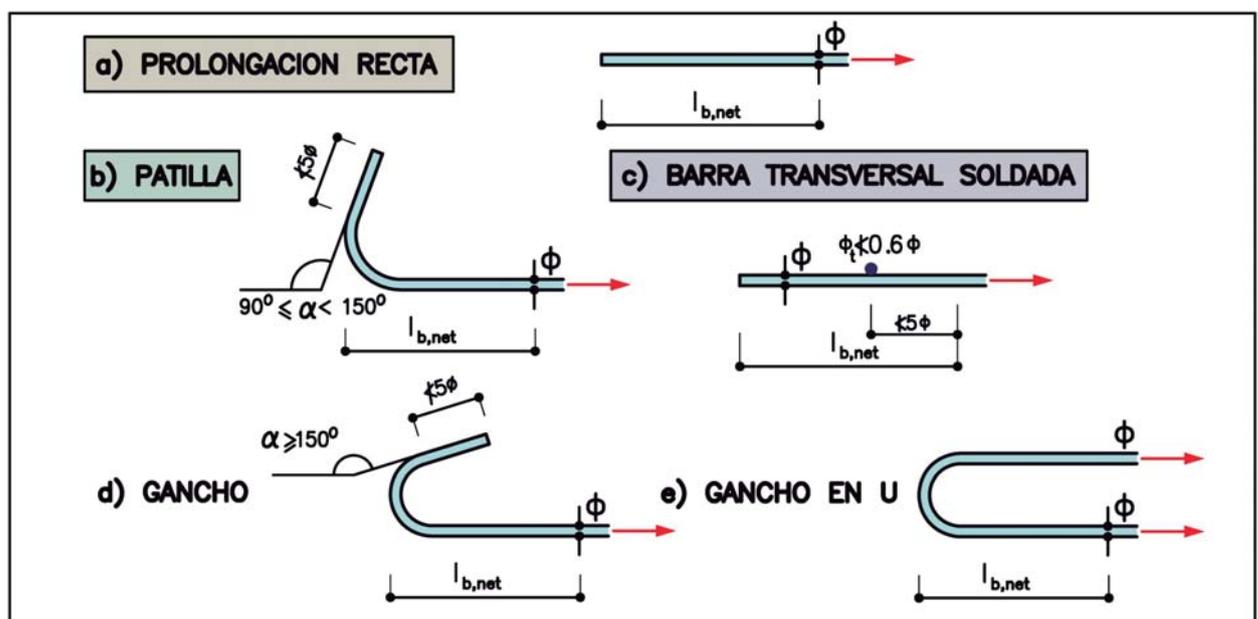


★ **POSICION II DE ADHERENCIA DEFICIENTE**

- ▶ Resto de posiciones
- ▶ La longitud de anclaje debe ser superior en Posición II

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 6 : ANCLAJE Y ADHERENCIA

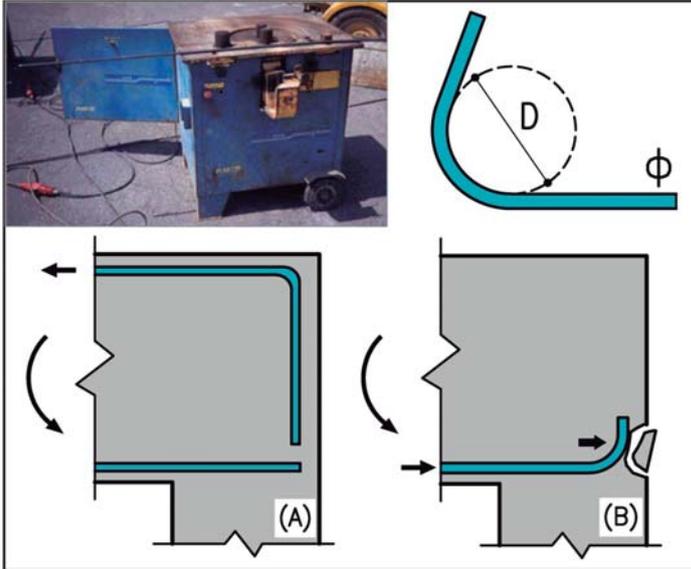
REF. 4



- ▶ Las barras se anclan preferentemente por prolongación recta, salvo falta de espacio. No exige manipulación específica
- ▶ En jácenas extremas se emplea la patilla por insuficiente anclaje recto. La barra transversal soldada es propio de mallas electrosoldadas

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 6 : ANCLAJE Y ADHERENCIA

Barras corrugadas	Ganchos, patillas		Barras dobladas y curvadas	
	Diámetro de la barra en mm		Diámetro de la barra en mm	
	$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	$\phi \leq 25$	$\phi > 25$
B 400 S	4 $\phi$	7 $\phi$	10 $\phi$	12 $\phi$
B 500 S	4 $\phi$	7 $\phi$	12 $\phi$	14 $\phi$



- (A): Anclaje en extremos de una jácena (flector negativo)  
(B): Patilla que presiona hacia el exterior, pudiendo saltar el recubrimiento

REF. 5

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 6 : ANCLAJE Y ADHERENCIA

★ **LONGITUD BÁSICA DE ANCLAJE  $L_b$ :**

Longitud de anclaje en prolongación recta y posición I necesaria para anclar una fuerza equivalente a su capacidad mecánica

Posición I  $L_{b,I} = m \cdot \phi^2 \cdot \frac{f_{yk}}{20} \phi$

Posición II  $L_{b,II} = 1.4 \cdot m \cdot \phi^2 \cdot \frac{f_{yk}}{14} \phi$

Unidades  $\phi$ : mm.

Resistencia característica del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	m	
	B400S B400SD	B500S B500SD
25	1.2	1.5
30	1.0	1.3
35	0.9	1.2
40	0.8	1.1
45	0.7	1.0
50	0.7	1.0

➔ **EJEMPLO:**  $\phi 16$  ; B500S ; HA-25 ; Posición I, II

$L_{b,I} = \text{Mayor} \left( m \cdot \phi^2 = 1.5 \cdot 16^2 = 384 \text{ mm}, \frac{f_{yk}}{20} \cdot \phi = \frac{500}{20} \cdot 16 = 400 \right)$  ;  $L_{bI} = 400 \text{ mm}$

$L_{b,II} = \text{Mayor} \left( 1.4 \cdot m \cdot \phi^2 = 1.4 \cdot 1.5 \cdot 16^2 = 540, \frac{f_{yk}}{14} \cdot \phi = \frac{500}{14} \cdot 16 = 570 \right)$   $L_{bII} = 570 \text{ mm}$

REF. 6

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 6 : ANCLAJE Y ADHERENCIA

★ **Longitud neta de anclaje**  $L_{b,net}$

Valor modificado de  $L_b \geq L_{b,net}$  , según el tipo de anclaje y cuantía de armadura

$$l_{b,net} = L_b \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}}$$

Tipo de anclaje	Coeficiente $\beta$	
	Tracción	Compresión
Prolongación recta	1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0.7	1
Barra transversal soldada	0.7	0.7

$A_s/A_{s,real}$  : Relación entre el área estricta necesaria por cálculo respecto a la existente

- ▶  $L_{b,net} \geq [ 15 \text{ cm} ; 10\phi ; 1/3 \cdot L_b \text{ (tracción)} ; 2/3 \cdot L_b \text{ (compresión)}]$
- ▶ Acciones dinámicas o sísmicas: aumento de  $L_b$  en  $10 \cdot \phi$

➔ **EJEMPLO CONT.:**  $\phi 16$  ( $A_{s,real} = 2.01 \text{ cm}^2$ ) ;  $A_{s,cálculo} = 1.8 \text{ cm}^2$ ; patilla

$$L_{b,net,I} = \text{Mayor} \left( L_{b,I} \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} = 40 \cdot 0.7 \cdot \frac{1.80}{2.01} = 25, 15, 10 \cdot \phi = 16, \frac{40}{3} = 13 \right) = 25 \text{ cm}$$

$$L_{b,net,II} = \text{Mayor} \left( L_{b,II} \cdot \beta \cdot \frac{A_s}{A_{s,real}} = 57 \cdot 0.7 \cdot \frac{1.80}{2.01} = 36, 15, 10 \cdot \phi = 16, \frac{57}{3} = 19 \right) = 36 \text{ cm}$$

REF. 7

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

★ **ESTADO LÍMITE**

Situación en la que toda o parte de la estructura queda fuera de servicio

➔ **ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.)**

Situación que provoca colapso o ruina

TIPOS

- ▶ De equilibrio
- ▶ De rotura o agotamiento resistente
- ▶ De estabilidad
- ▶ De fatiga

➔ **ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (E.L.S.)**

Situación que provoca disfuncionalidad, falla estética o incomodidad, degradación

TIPOS

- ▶ De fisuración controlada
- ▶ De deformación
- ▶ De vibraciones

➔ **ESTADO LÍMITE DE DURABILIDAD**



REF. 1

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD  
REF. 2

Verificar que la obra tenga las características especificadas en el proyecto

★ **CONTROL DE PRODUCTOS**

Conformidad de materiales (hormigón, armaduras) durante el control de recepción de obra, mediante: ► **Marcado CE, *distintivo voluntario de calidad oficialmente reconocido*** (AENOR, AIDICO, A+LGAI, BVC), certificados...

► **CONTROL DEL HORMIGON**

- ① **MODALIDAD 1:** Control nivel indirecto. Consistencia  
Resistencia de cálculo.  $f_{cd} \leq 10 \text{ N/mm}^2$  (obras de escasa importancia)
- ② **MODALIDAD 2:** Control 100 por 100  
Determinación de la resistencia de todas las amasadas
- ③ **MODALIDAD 3:** Control estadístico del hormigón. Ensayos.  
Determinación de la resistencia *estimada*

► **CONTROL DEL ACERO (sin modalidades de control)**

Sin distintivo o certificación → se hacen ensayos (lotes):  
**ACERO:** Sección equivalente, resaltos corrugas, doblado, tracción, soldabilidad  
**ARMADURAS:** Despegue soldaduras, geometría y grado de oxidación

★ **CONTROL DE LA EJECUCION:** Afecta al coeficiente de seguridad de materiales

- **NIVEL NORMAL:** control habitual
- **NIVEL INTENSO:** control conforme ISO 9001. Más inspecciones de obra

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD  
REF. 3

★ **TIPOS DE SITUACIONES DE PROYECTO:**

La comprobación estructural se realiza dependiendo de la situación a evaluar:

- **PERSISTENTES:** Uso normal
- **TRANSITORIAS:** Construcción y reparación
- **ACCIDENTALES:** Condiciones excepcionales

★ **RES. CARACTERISTICA y de CÁLCULO del HORMIGÓN:**

Resistencia característica de proyecto  $f_{ck}$ :  
20, 25, 30, 35, 40, 45, 50  $\text{N/mm}^2$

$$f_{cd} = \alpha_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

★ **RES. CARACTERISTICA y de CÁLCULO del ACERO:**

Resistencia característica de proyecto  $f_{yk}$ :  
400, 500  $\text{N/mm}^2$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

★ **COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD DE MATERIALES:**

Situación de proyecto		Hormigón	Acero
		$\gamma_c$	$\gamma_s$
Estado Límite último	Persistente o transitoria	1.5	1.15
	Accidental	1.3	1.0
Estado Límite de Servicio		1	1

★ **DISTINTIVO DE CALIDAD OFICIALMENTE RECONOCIDO**

**Anulado** el Anejo 19 de la EHE-08 dónde se establecían condiciones específicas para el hormigón, acero, armaduras, prefabricados, sobre los requisitos generales de los distintivos de calidad ordinarios

Son voluntarios, otorgados por un organismo certificador

**Ventajas:**

- Gran reducción del número de ensayos en obra
- Posibilidad de disminución del coeficiente de seguridad ( $\gamma_c = 1.40$ ,  $\gamma_s = 1.10$ )

REF.  
4



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

➔ **VALOR CARACTERÍSTICO (CTE SE-AE):**

$$F_k$$

Acción con probabilidad del 0.05 de superarse durante la vida de la estructura

➔ **VALOR REPRESENTATIVO (EHE-08):**

$$F_r = \psi_i \cdot F_k$$

La probabilidad de que ocurran varias acciones variables a la vez es más baja

$\psi$  es el factor de simultaneidad ( $\psi \leq 1$ ) que reduce cada acción variable

Se define en el CTE SE. Sus valores son:

▶ Cargas permanentes y accidentales:

$$\psi = 1$$

▶ Acciones variable Q:

Situación persistente o transitoria:

➔ **Una acción variable Q es la principal**

Adopta su valor característico

$$\psi = 1$$

Es la acción **DETERMINANTE**

➔ **El resto de Q son acompañantes**

Adopta su valor representativo

$$\psi_0$$

Es el valor de **COMBINACION**

REF.  
5

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
 TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

Localización (Según CTE SE)	Categoría	Coeficientes de simultaneidad		
		ψ <sub>0</sub>	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>
<b>Sobrecarga superficial de uso</b>				
Zonas residenciales	A	0.7	0.5	0.3
Zonas administrativas	B	0.7	0.5	0.3
Zonas destinadas al uso público	C	0.7	0.7	0.6
Zonas comerciales	D	0.7	0.7	0.6
Zonas de tráfico vehículos W < 30 kN	E	0.7	0.7	0.6
Zonas de tráfico vehículos 30 < W 160 kN (EC-3)		0.7	0.5	0.3
Locales almacén (según EC-3)		1.0	0.9	0.8
Cubiertas transitables	F	Según uso acceso		
Cubiertas accesibles solo para mantenimiento	G	0	0	0
<b>Nieve</b>				
Para altitudes > 1000 m		0.7	0.5	0.2
Para altitudes ≤ 1000 m		0.5	0.2	0
<b>Viento</b>		0.6	0.5	0

Factores de simultaneidad para las acciones variables acompañantes  
 (ψ<sub>2</sub> : Sismo, fluencia y fisuración)

 REF.  
 6

 ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
 TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

**→ VALOR DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES**

Factor de seguridad que reduce la posibilidad de alcanzar el valor de cálculo:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_r = \gamma_f \cdot \psi_i \cdot F_k$$

 γ<sub>f</sub> : Coeficiente de mayoración de carga

**→ COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD (CTE)**

Situación	Persistente o transitoria		Situación accidental	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	γ <sub>G</sub> = 0.80 (1.00 EHE)	γ <sub>G</sub> = 1.35	γ <sub>G</sub> = 1.00	γ <sub>G</sub> = 1.00
Variable	γ <sub>Q</sub> = 0.00	γ <sub>Q</sub> = 1.50	γ <sub>Q</sub> = 0.00	γ <sub>Q</sub> = 1.00
Accidental	-	-	γ <sub>A</sub> = 1.00	γ <sub>A</sub> = 1.00

**ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS (ELU)**

TIPO DE ACCION	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	γ <sub>G</sub> = 1.00	γ <sub>G</sub> = 1.00
Variable	γ <sub>Q</sub> = 0.00	γ <sub>Q</sub> = 1.00

**ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO (ELS)**

 REF.  
 7

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
 TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

→ **Conjunto de acciones compatibles que actúan a la vez en una situación límite**  
 Se formulan las combinaciones de cargas para encontrar la más desfavorable  
**Situación persistente:** Siempre existe G, las variables Q pueden actuar aisladas o en combinaciones compatibles

ESTADOS LIMITES ULTIMOS		
Situación persistente o transitoria	Una acción variable $Q_{k,i}$	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$
	Dos o más acciones variables siendo $Q_{k,1}$ la determinante:	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$
Sismo $A_{E,K}$	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_A \cdot A_{E,K} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$	
ESTADOS LIMITES DE SERVICIO		
Combinación poco probable o característica	Una acción variable $Q_{k,i}$	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$
	Dos o más acciones variables siendo $Q_{k,1}$ la determinante:	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$
Combinación cuasipermanente	$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$	

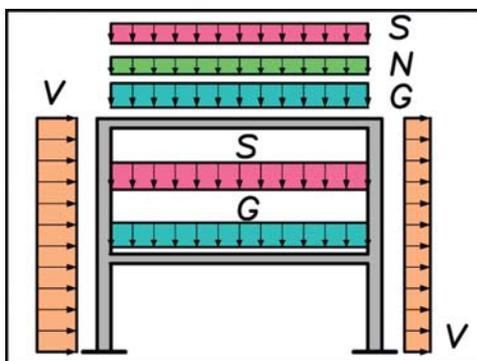
REF. 8

 ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
 TEMA TEMA 7 : CONDICIONES DE SEGURIDAD

→ **Establecer todas las combinaciones posibles del edificio de la figura**  
 Coeficientes de simultaneidad y de mayoración de las cargas variables acompañantes:  
**ACCIONES: G, S, N, V**

- G: Permanente  
 S: Sobrecarga de uso (A a E)  
 N: Nieve (h<1000 m)  
 V: Viento

		$\psi_0$	$\gamma$	Factor final $\psi_0 \cdot \gamma$
Sobrecarga de uso	S	0.7	1.50	1.05
Viento	V	0.6	1.50	0.90
Nieve	N	0.5	1.50	0.75



V: asimetría → Hipótesis independ. no combinables  
 S: en planta y cubierta → Hipótesis independ. combinables

Nº	Variable principal	Combinación
1	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S$
2	N	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot N$
3	V	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot V$
4	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N$
5		$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.90 \cdot V$
6	N	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot N + 1.05 \cdot S$
7		$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot N + 0.90 \cdot V$
8	V	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot V + 0.75 \cdot N$
9		$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot V + 1.05 \cdot S$
10	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N + 0.90 \cdot V$
11	N	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot N + 1.05 \cdot S + 0.90 \cdot V$
12	V	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot V + 0.75 \cdot N + 1.05 \cdot S$

REF. 9

**\* ANALISIS DEL PROCESO**

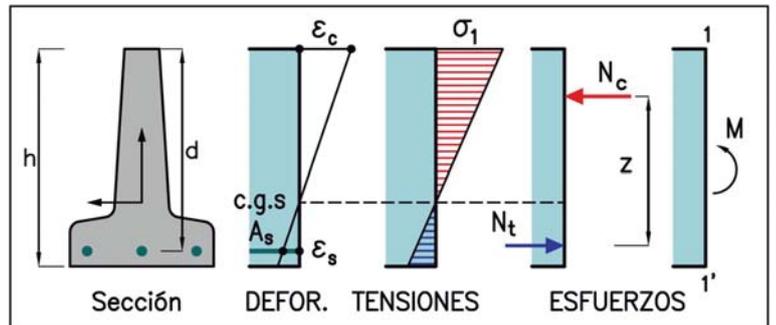
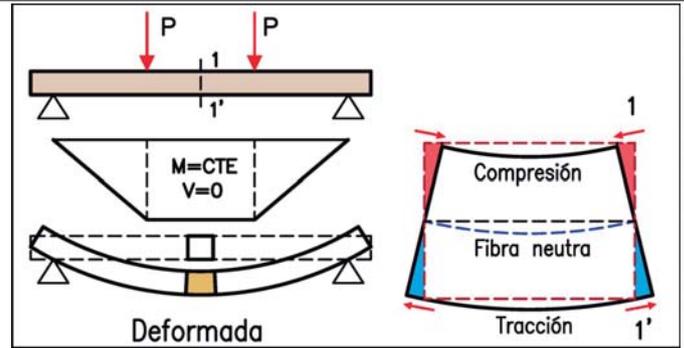
- **Viga biapoyada**
- **Dos cargas puntuales P crecientes**
- **Se analiza la sección intermedia 1-1'**

**\* VARIABLES**

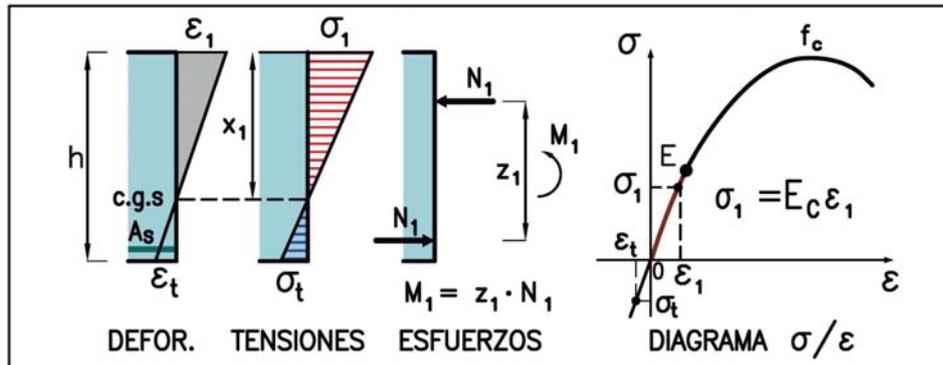
En lugar de tomar momentos respecto al c.g. se tomarán respecto a la resultante de tracciones:

$$M_1 = N \cdot x_s + N \cdot x_i = N \cdot (x_s + x_i) = N \cdot z$$

- M** Flector solicitante
- N<sub>c</sub>** Resultante compresiones
- N<sub>t</sub>** Resultante tracciones
- z** Brazo mecánico o de palanca
- d** Canto útil



**\* ESTADIO ELÁSTICO**

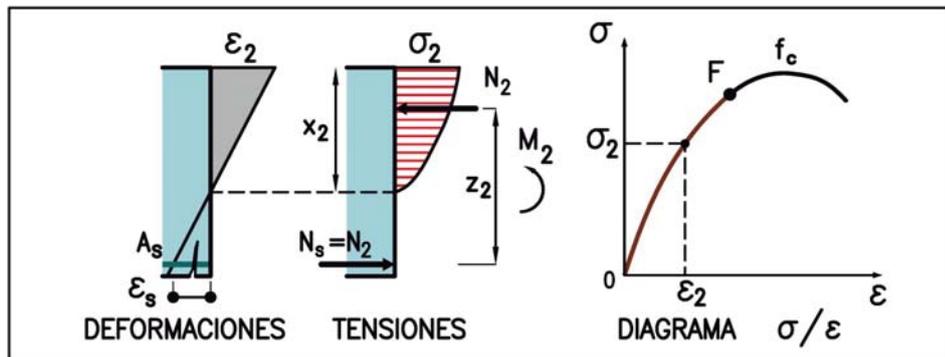


- **Tensiones  $\sigma_1$  aprox. proporcionales a deformaciones  $\varepsilon_1$**  debido a que el módulo de deformación  $E_c$  es casi constante
- **Hasta tensiones del orden de 35-40% (E) de la  $f_c$**  (tensión de rotura a compresión)
- **No existe fisuración (sección monolítica)**
- **Base del dimensionado del cálculo elástico clásico o cuando no deba fisurarse**
- **En una sección simétrica rectangular, las máximas tensiones son:**

$$\sigma_t = M_1/W_1 \leq f_{ct,fl} \quad W_{rectang.} = b \cdot h^2/6$$

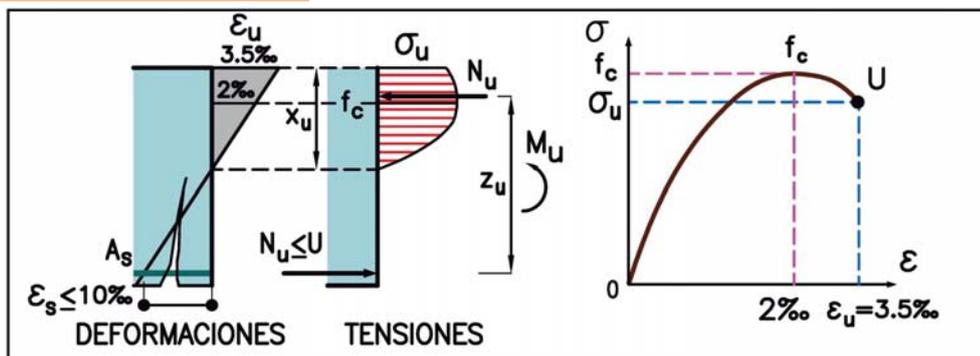
- **El acero en la zona traccionada prácticamente no trabaja debido a la escasa deformación del hormigón en esa zona**

\* **ESTADIO DE FISURACIÓN**



- ➔ Las tensiones de tracción fisuran el hormigón
- ➔ Las fisuras ascienden hacia la zona comprimida
- ➔ La zona comprimida se concentra ( $x_2 \downarrow$ ) y engrosa en la parte superior
- ➔ Las fibras superiores tienen una tensión más similar
- ➔ Es capaz de resistir momentos crecientes  $M_2$ . Aumentan  $z_2$  y  $N_2$ :  
$$M_2 = N_2 \cdot z_2$$
- ➔ Es un estado límite en los casos que se deba imponer una fisuración controlada  $\epsilon_s$

\* **ESTADIO DE PRERROTURA**



- ➔ Se alcanza el acortamiento máximo del hormigón  $\epsilon_u = 3.5\text{‰}$
- ➔ Bloque de compresiones muy engrosado ;  $f_c$  no ocurre en fibras extremas
- ➔ Máximo crecimiento de las fisuras en altura y en anchura
- ➔ Brazo mecánico  $z_u$  máximo
- ➔ El acero no puede alargarse más del 10‰ (por gran agrietamiento)
- ➔ Es el estado límite de **AGOTAMIENTO RESISTENTE**
- ➔ Máximo momento resistido por la sección:  $M_u = N_u \cdot z_u$
- ➔ Momento debido a las cargas exteriores de cálculo:  $M_d = M_k \cdot \gamma_d$
- ➔ Comprobación de la sección:  $M_d \leq M_u$

★ Obtener el flector de agotamiento  $M_u$  de una sección de  $0.5 \text{ m}$  de canto  $h$ , armada con  $5\phi 20$  (B500) y  $0.04 \text{ m}$  de recubrimiento mecánico  $r_{mec}$

➔ El brazo mecánico  $z_u$  puede ser  $z_u \approx 0.9 \cdot d$  en muchos casos

a) Capacidad mecánica de la armadura:

$$U_s = N_u = 682.95 \text{ kN}$$

b) Brazo mecánico:

$$z_u \approx 0.9 \cdot d = 0.9 \cdot (0.50 - 0.04) = 0.414 \text{ m}$$

c) Momento de agotamiento:

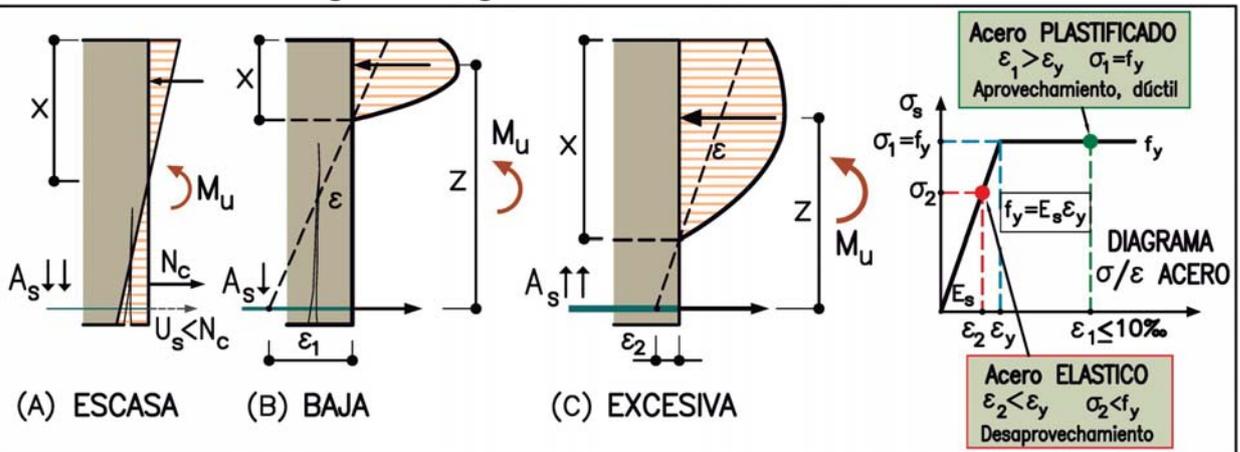
$$M_u = N_u \cdot z_u \approx 682.95 \text{ kN} \cdot 0.414 \text{ m} = 283 \text{ kNm}$$

➔ Sin embargo,  $z_u$  también depende de "b", " $f_{cd}$ " y del propio " $U_s$ "

➔ Puede ser válido como orden de magnitud si se cumplen las condiciones impuestas. En todo caso es necesario desarrollar un procedimiento de cálculo más preciso

➔ Con estos datos, en el Problema 1 del Tema siguiente, se obtiene un flector de agotamiento  $M_u = 266 \text{ kNm}$  ( $z_u = 0.85 \cdot d$ )

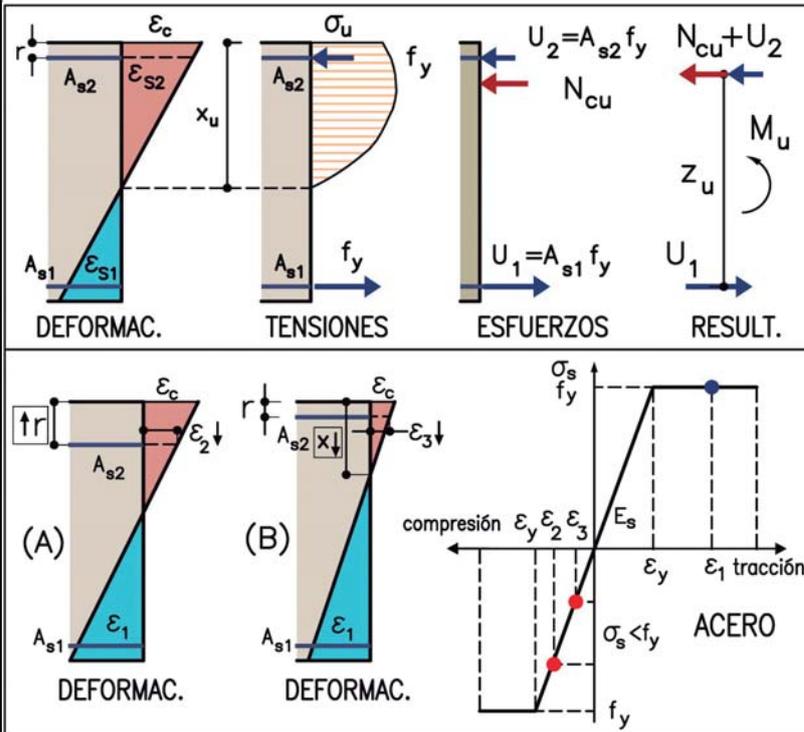
★ Variación del diagrama según la cuantía de acero a tracción



(A) **Muy poca armadura:** Tras la fisuración, el acero  $U_s$  es incapaz de compensar los efectos de la anterior tracción del hormigón  $N_c$ . Deben disponerse unas cuantías mínimas de  $A_s$  (Tema 11)

(B) **Poca armadura:** desaprovechamiento del hormigón. Máximo aprovechamiento del acero. Gran ductilidad. Es aconsejable reducir la sección de hormigón

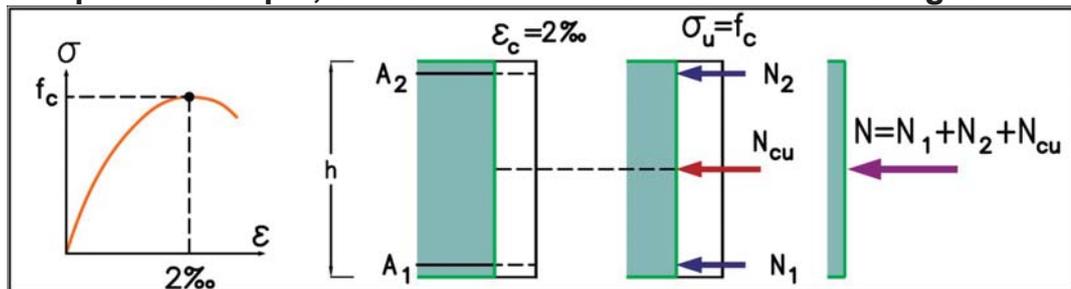
(C) **Exceso de armadura:** Rotura brusca y sin aviso al fallar por exceso de compresión del hormigón. Desaprovechamiento del acero porque al aumentar  $A_s$ , el bloque comprimido de hormigón aumenta muy poco y asimismo  $M_u$



- ➔ La compresión se reparte entre el hormigón y acero
- ➔ Un aumento de  $A_{s2}$  exige un aumento similar de  $A_{s1}$
- ➔ Sólo colocar  $A_{s2}$  cuando  $M_d \uparrow$ . Si  $M_d$  es pequeño o medio,  $A_{s2}$  casi no influye en el cálculo de  $M_u$
- ➔ Es más rentable soportar la compresión con hormigón que con acero salvo que un  $M_d \uparrow$  afecte a una corta longitud de la viga
- ➔ En vigas, por montaje, siempre existe  $A_{s1}$  y  $A_{s2}$  en ambas caras
- ➔  $\uparrow A_{s2} \rightarrow \downarrow$  deformaciones por fluencia del hormigón
- ➔ Si  $A_{s2}$  alcanza  $f_y$ , adecuado aprovechamiento, salvo:

(A): Altos recubrimientos ; (B): Profundidad del eje neutro "x" pequeña

★ En compresión simple, todas las fibras alcanzan a la vez el agotamiento  $f_c$



★ CANSANCIO DEL HORMIGON

- ➔ La tensión de agotamiento  $f_c$  es la resistencia a compresión en probeta cilíndrica
- ➔ Carga mantenida elevada: tensión de agotamiento inferior, hasta el 85% de  $f_{ck}$
- En flexión no se presenta luego  $\alpha_c = 1$
- En compresión (pilares), como además la resistencia varía en altura (puede reducirse un 10%), se tomará  $\alpha_c = 0.85$  (muchos autores y programas toman  $\alpha_c = 1$ )

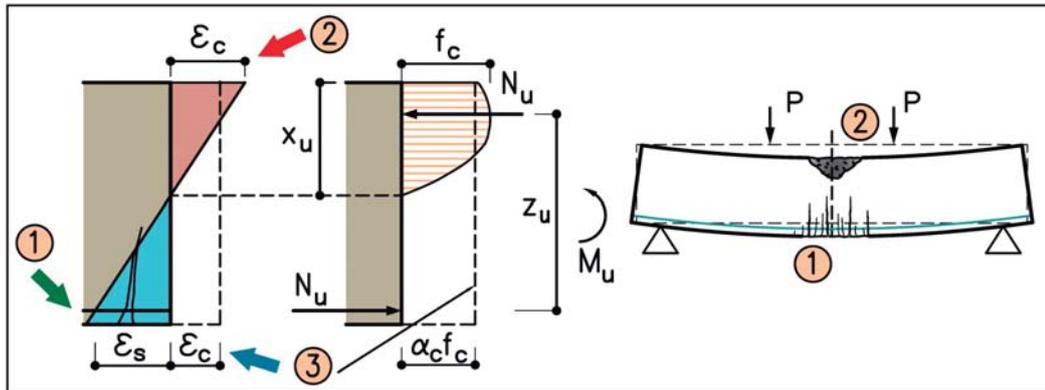
★ DEFORMACION EN ROTURA

- ➔ Es del orden  $\epsilon_c = 0.002$  (sección rectangular)
- ➔ A partir de los datos anteriores, la máxima tensión alcanzada por la armadura para una deformación de 0.002 es:

$$\sigma_s = \epsilon_c \cdot E_s = 0.002 \cdot 2.1 \cdot 10^5 = 420 \text{ N/mm}^2$$

- ➔ Es inútil usar aceros de alto límite elástico, pues se quedan lejos de su  $f_y$

★ **ESTADO LÍMITE ÚLTIMO DE AGOTAMIENTO**



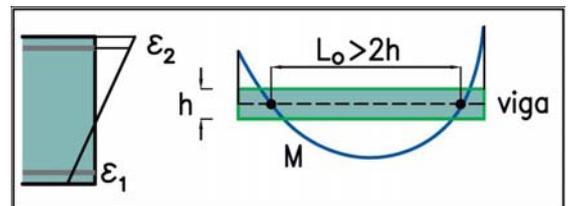
- ① Exceso de deformación plástica del acero
  - ➔ Máximo alargamiento del acero:  $\epsilon_s = 0.010$     10‰
- ② Aplastamiento del hormigón en FLEXIÓN
  - ➔ Máximo acortamiento del hormigón:  $\epsilon_c = 0.0035$     3.5‰
- ③ Aplastamiento del hormigón en COMPRESIÓN
  - ➔ Máximo acortamiento del hormigón:  $\epsilon_c = 0.002$     2‰

★ **SOLICITACIONES**

- ▶ Resistencia nula del hormigón a tracción
- ▶ Una combinación de esfuerzos provoca un único estado tensional

★ **DEFORMACIONES**

- ▶ Ley plana de deformaciones hormigón-acero
- ▶ Adherencia plena hormigón-acero  
La ley de deformaciones es conocida al conocer la de dos de sus fibras



★ **DIAGRAMAS TENSION-DEFORMACION  $\sigma/\epsilon$**

- ▶ Conocida  $\epsilon$  de una fibra, obtener su  $\sigma$

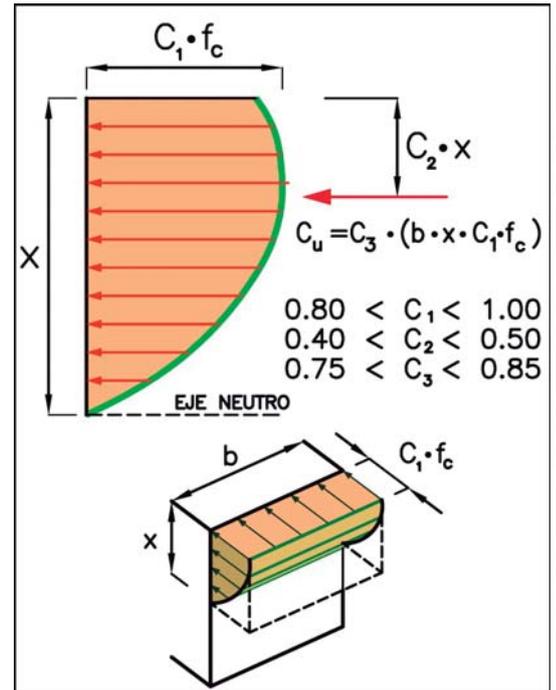
**HORMIGÓN**

- ▶ Difícil de generalizar para cualquier tipo de sollicitación, clase de hormigón, geometría, ambiente
- ▶ Se usarán los recomendados en la EHE-08
- ▶ Cumplen la condición de que la resultante del bloque de compresiones y su posición sea similar al diagrama real, para la misma deformación

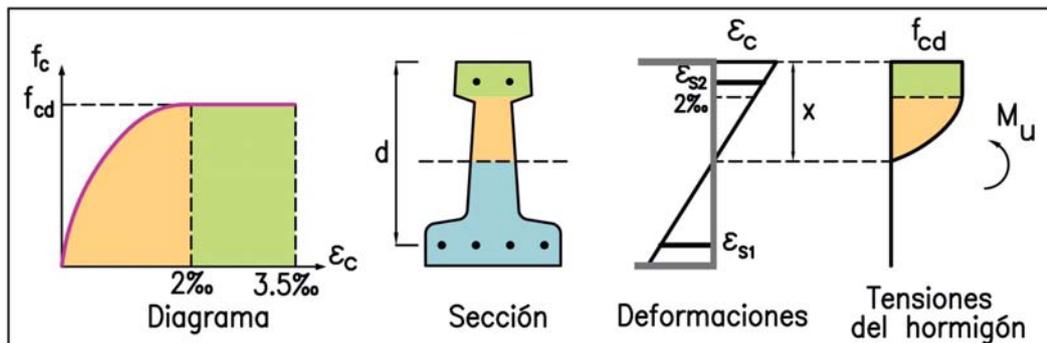
★ **Parámetros del bloque de compresiones en estado de prerrotura**

- ① **C<sub>1</sub>**: Determina la resistencia a compresión respecto a  $f_c$  del ensayo normalizado. Evalúa el fenómeno del cansancio del hormigón
- ② **C<sub>2</sub>**: Define la posición de la resultante de compresiones respecto a la profundidad del eje neutro
- ③ **C<sub>3</sub>**: Coeficiente de uniformidad que define el valor de la distribución de compresiones y reduce el volumen del prisma  $(b \cdot x) \cdot (C_1 \cdot f_c)$  para adaptarlo al volumen real

$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	$\epsilon_c$
20	0.97	0.46	0.82	0.0035
27	0.94	0.45	0.79	0.0034
36	0.92	0.42	0.75	0.0032



► **Diagrama parábola rectángulo**

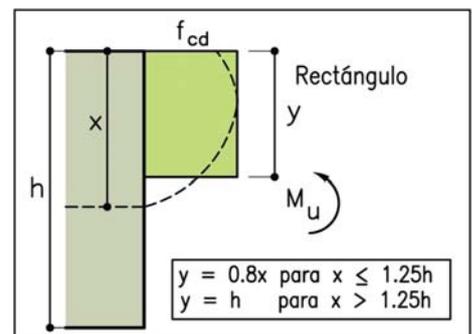


- Compleja resolución manual (dificultad de obtener expresiones)
- Se utilizarán Tablas o ábacos
- Muy usado en programas informáticos
- Buena aproximación a la realidad

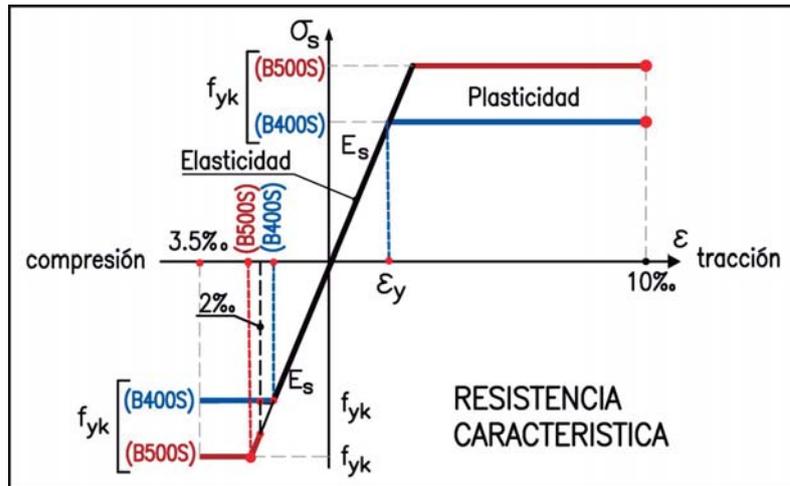
- Parábola: hasta una deformación del 2‰
- Rectángulo: entre el 2‰ al 3.5‰ por mil

► **Diagrama rectangular**

- Expresiones para un cálculo manual



- \* **DIAGRAMA**
  - ▶ Suficiente adoptar un diagrama elasto-plástico
- \* **TRACCIÓN**
  - ▶ Deformación máxima del hormigón que le rodea del **10‰**  
Amplitud de fisuración suficiente para ser dúctil y detectar ruina inminente
- \* **COMPRESIÓN**
  - ▶ Deformación máxima del hormigón que le rodea del **3.5‰** ó **2‰**



- ▶ Una sección de hormigón se encuentra en un **ESTADO LIMITE DE AGOTAMIENTO** cuando el acero o el hormigón alcanzan sus deformaciones límites  
 $\epsilon_{s1}$ : Acero 10 ‰     $\epsilon_c$ : Hormigón 3.5‰ (flexión)    2‰ (compresión)

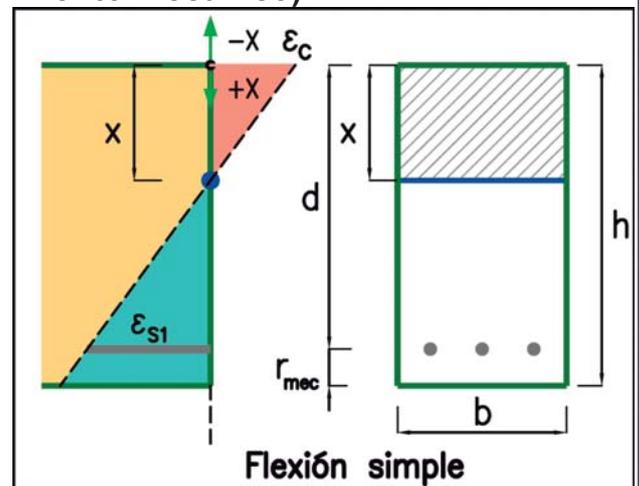
- ▶ **CANTO ÚTIL**: distancia de la armadura a tracción a la fibra comprimida más alejada:  
 $d = h - r_{mec}$  (recubrimiento mecánico)

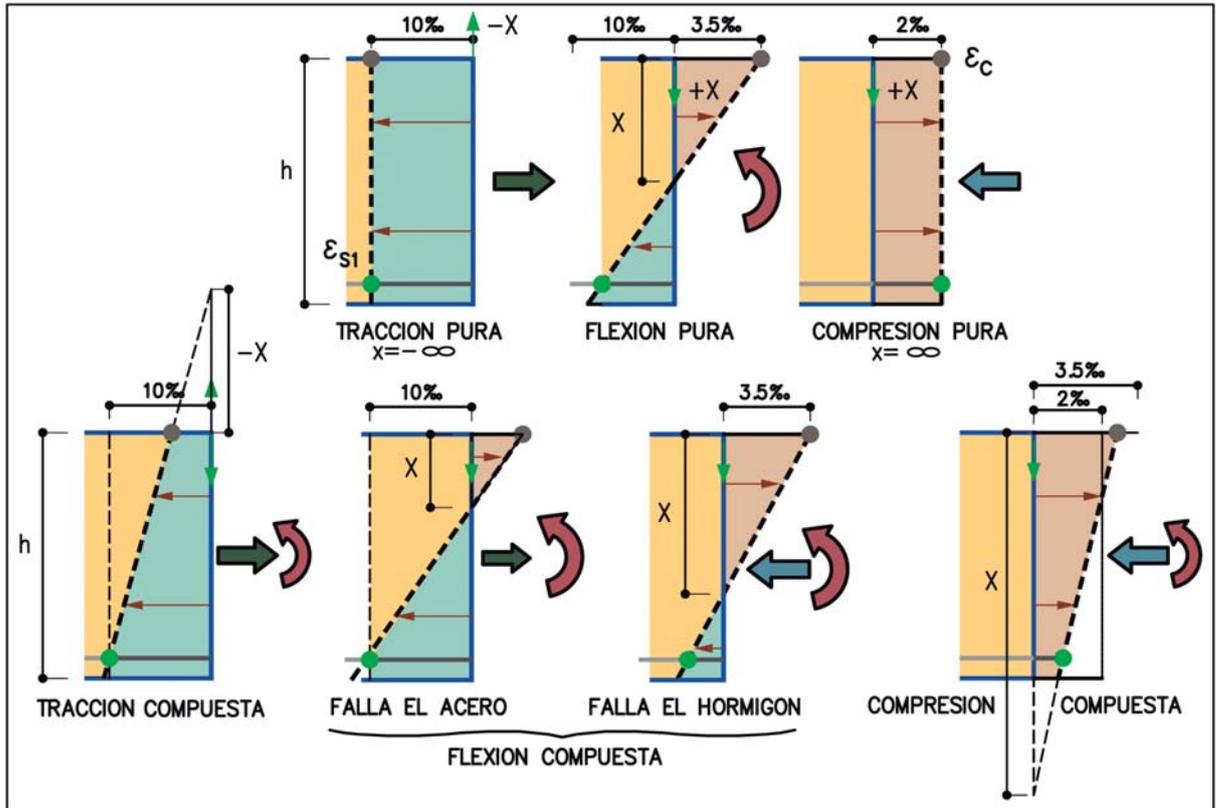
▶ **EJE NEUTRO (x)**

- \* Fibras de anchura  $b$  que no se deforman
- \* Es la altura de la zona comprimida
- \* Corte de la vertical de la sección con la ley de deformaciones
- \* Se mide  $x$  desde la fibra más alejada
- \* Puede cortar fuera de la sección de altura  $h$  cuando actúa flector y axil

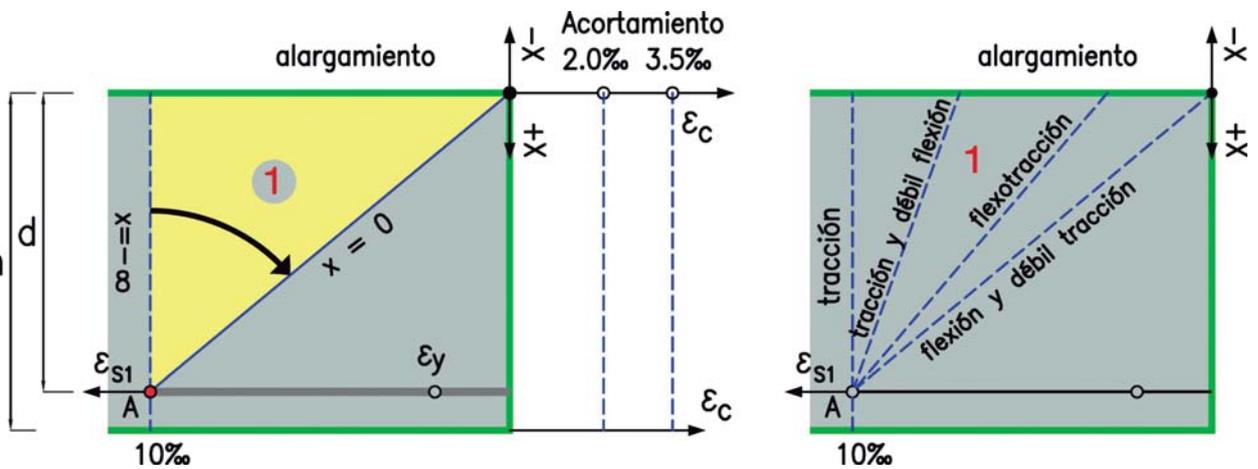
▶ **Dominios de deformación**

- \* Formas diferentes de ruina al alcanzarse la/s deformación límite, por esfuerzo N y M
- \* Dominios 1, 2, 3, 4, 4a, 5
- \* Vigas a flexión: 2, 3 ; Soportes: 4a, 5.



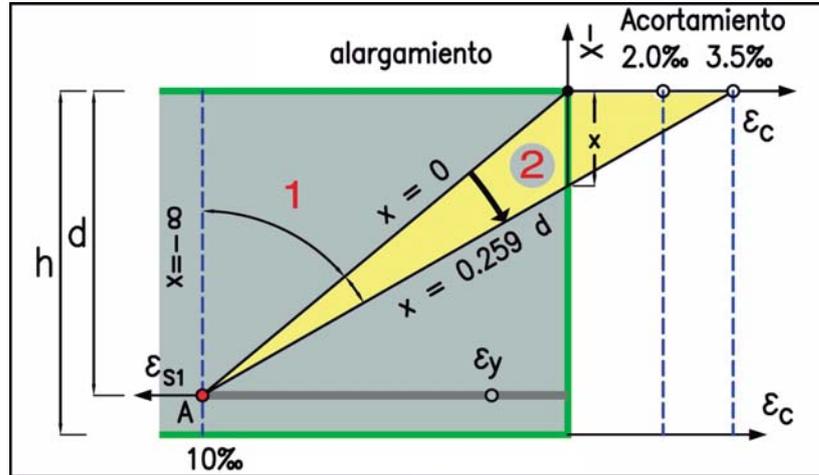


- ★ **DOMINIO 1: Tracción simple o compuesta**
  - ▶ El acero alcanza su máximo alargamiento
  - ▶ Todas las fibras se alargan
  - ▶ De menor interés en hormigón



★ **DOMINIO 2: Flexión simple**

- ▶ El acero alcanza su máximo alargamiento. Gran ductilidad de la sección
- ▶ El hormigón se acorta

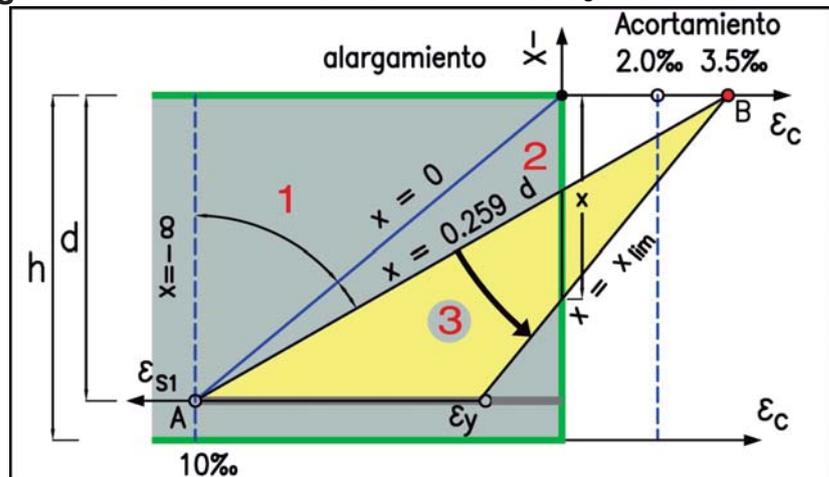


- ▶ Punto singular en el que se alcanzan las deformaciones máximas del acero y hormigón: Eje neutro:  $0 < x < 0.259 \cdot d$
- ▶ Hormigón desaprovechado, aunque en general no es relevante
- ▶ Armadura a compresión innecesaria o desaprovechada, al no alcanzar  $f_y$

$$\frac{0.0035}{x} = \frac{0.01}{d-x} \rightarrow x = 0.259 \cdot d$$

★ **DOMINIO 3: Flexión simple o compuesta**

- ▶ El acero alcanza su capacidad mecánica. Alargamiento variable entre 10‰ y  $\epsilon_y$
- ▶ El hormigón tiene su máximo acortamiento  $\epsilon_c = 3.5‰$



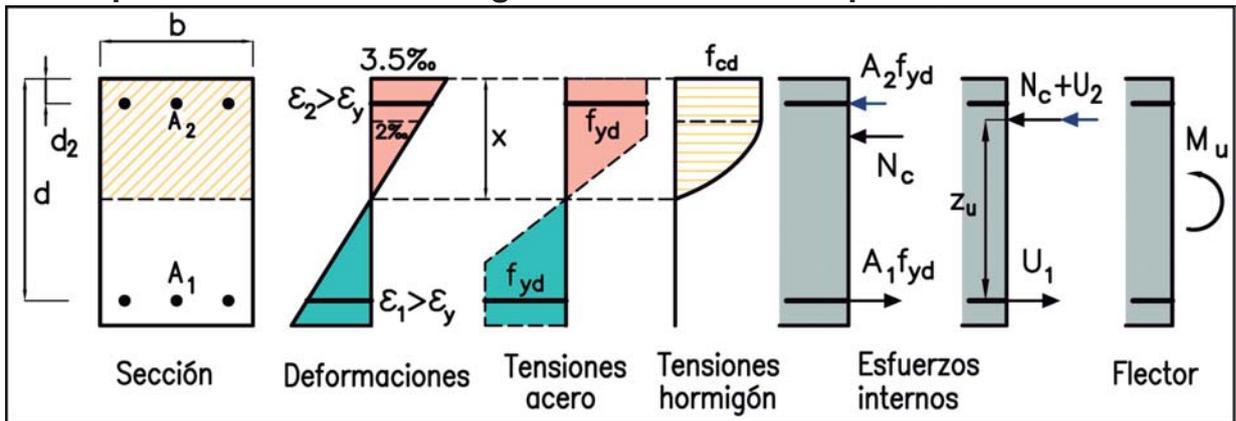
- ▶ La profundidad límite en la que el acero alcanza la deformación en el límite elástico ( $f_{yd}$ : N/mm<sup>2</sup>) es:

$$\frac{0.0035}{x_{lim}} = \frac{\epsilon_y}{d-x_{lim}} \rightarrow x_{lim} = \frac{d}{1 + 1.43 \cdot 10^{-3} \cdot f_{yd}}$$

B400S →  $x_{lim}/d = 0.668$  ; B500S →  $x_{lim}/d = 0.617$

Eje neutro:  $0.259 \cdot d < x < x_{lim}$

► Representación de los diagramas en flexión simple  $M_u$



$U_1 = A_1 \cdot f_{yd}$ : Capacidad mecánica de la armadura a positivos (tracción)

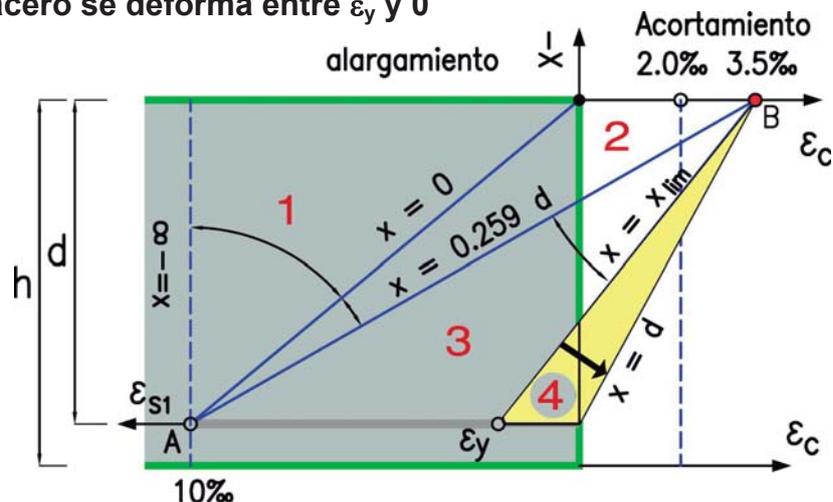
$U_2 = A_2 \cdot f_{yd}$ : Capacidad mecánica de la armadura a compresión

$N_c$ : Resultante de las compresiones en el hormigón

- Situación óptima de secciones sometidas a flexión simple  
Hormigón y acero tienen el máximo aprovechamiento  
La ductilidad decrece según aumenta  $x$
- No dimensionar vigas en Dominio 4 (rotura frágil)  $\varepsilon_1 < \varepsilon_y$

\* **DOMINIO 4: Flexión simple o compuesta**

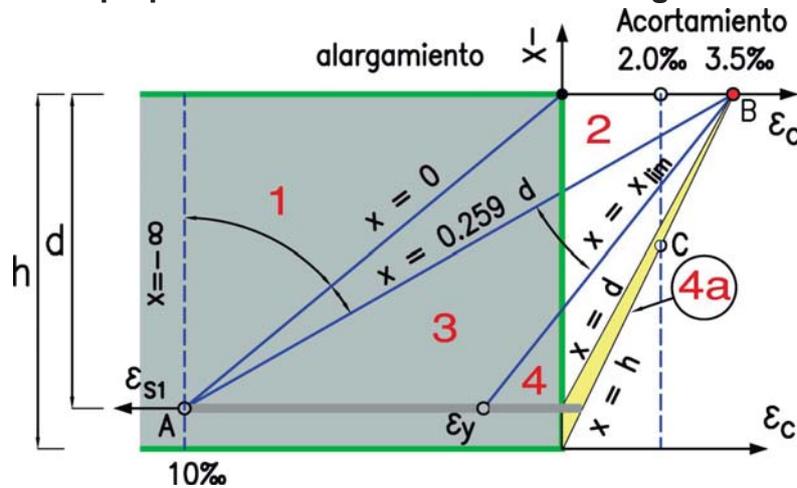
- El acero no alcanza su capacidad mecánica
- El acero se deforma entre  $\varepsilon_y$  y 0



- Desaprovechamiento del acero en tracción
- Con más armadura a tracción, aumenta menos que proporcionalmente  $M_u$
- La rotura es brusca y sin aviso
- En flexión no debe dimensionarse en este dominio

**\* DOMINIO 4a: Flexión compuesta**

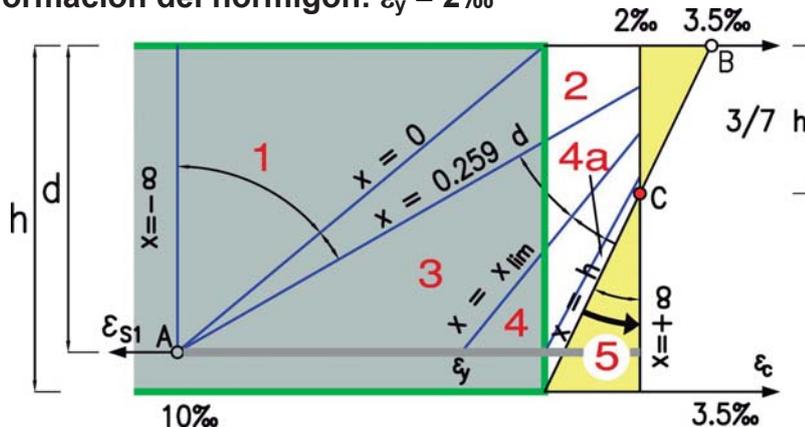
- ▶ Todas las armaduras están comprimidas
- ▶ Existe una pequeña zona de tracción del hormigón



- ▶ Es una compresión con mayor flexión que en el dominio 5a
- ▶ Corresponde a pilares con flector elevado frente al axil (flexión compuesta)
- ▶ En este caso suele dimensionarse con armadura simétrica

**\* DOMINIO 5: Compresión compuesta y simple**

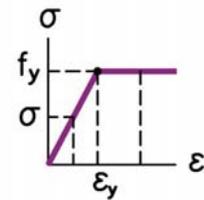
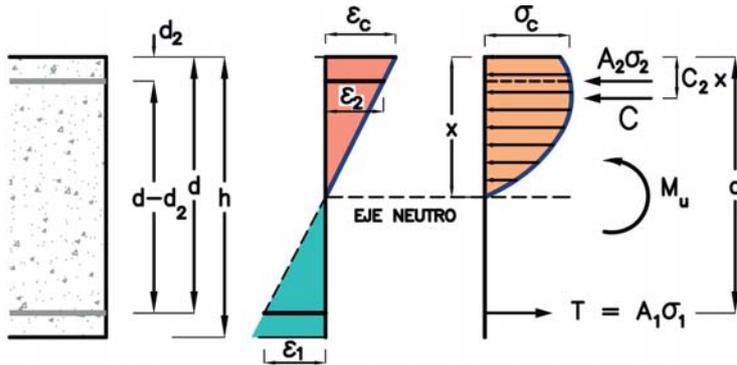
- ▶ Las rectas de deformación giran alrededor del punto C para una deformación del hormigón:  $\epsilon_y = 2\text{‰}$



$$\frac{0.0035 - 0.002}{x_c} = \frac{0.002}{h - x_c} \rightarrow x_c = 3/7 \cdot h$$

- ▶ Posición del punto C:  
Eje neutro:  $h < x < +\infty$
- ▶ Compresión con menor excentricidad ( $e = M_d/N_d$ ) que el dominio 4a
- ▶ Corresponde a pilares con axil elevado frente al flector (compresión compuesta)
- ▶ Se dimensiona con armadura simétrica

Se plantean 4 ecuaciones, existiendo 4 incógnitas según el dominio de deformación:



Acero  $\left[ \begin{array}{l} \text{Si } \epsilon \leq \epsilon_y \rightarrow \epsilon = \sigma / E_s \\ \text{Si } \epsilon > \epsilon_y \rightarrow \sigma = f_y \end{array} \right.$

CONDICIONES DE EQUILIBRIO

Y COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES

(1)  $\sum F=0 \quad C + A_2 \sigma_2 - A_1 \sigma_1 = 0$

(3 y 4)  $\frac{\epsilon_c}{x} = \frac{\epsilon_2}{x-d_2} = \frac{\epsilon_1}{d-x}$

(2)  $\sum M=M_u \quad C \cdot (d-C_2 \cdot x) + A_2 \sigma_2 (d-d_2) = M_u$

$\epsilon_c \rightarrow \sigma_c, C \quad \epsilon_2 \rightarrow \sigma_2 \quad \epsilon_1 \rightarrow \sigma_1$

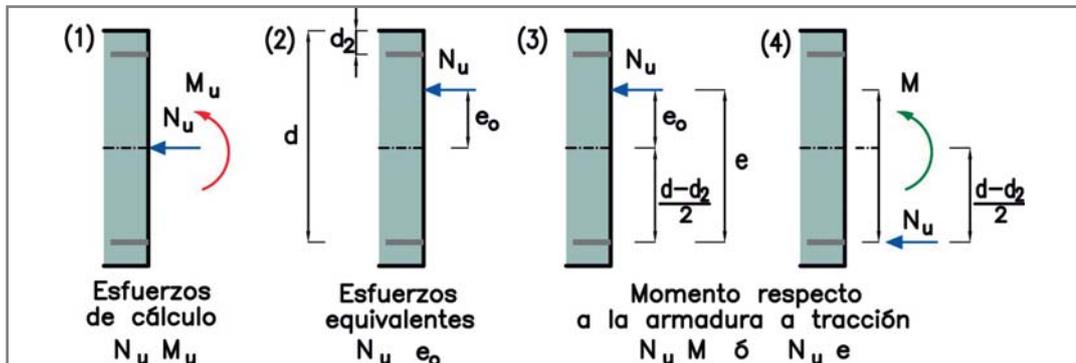
CRITERIOS DE RUINA

	DEF. LIMITE	TENS.MAXIMA	TENS.INCOGN.	INCOGNITAS
EN DOMINIO 1, 2	$\epsilon_1 = 0.010$	$\rightarrow \sigma_1 = f_y$	$\rightarrow \sigma_c \leq f_c$	$\epsilon_c, \sigma_2, x, M_u$
EN DOMINIO 3, 4	$\epsilon_c = 0.0035$	$\rightarrow \sigma_c = f_c$	$\rightarrow \sigma_1 \leq f_y$	$\epsilon_1, \sigma_2, x, M_u$

\* EXCENTRICIDADES:

▶ Respecto al c.g.:  $N_u \cdot e_0 = M_u$

▶ Respecto a la armadura a tracción:  $N_u \cdot e = M \rightarrow N_u \cdot (e_0 + \frac{d-d_2}{2}) = M$

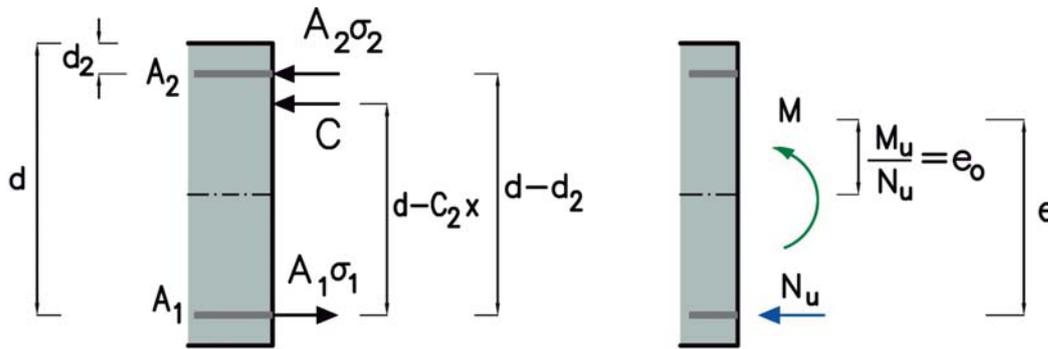


▶ El momento  $M_u$  es menor que  $M$ :  $M_u = M - N_u \cdot \frac{d-d_2}{2}$

▶ Si colocamos  $N_u$  en la armadura a tracción, el conjunto  $[M, N_u]$  (4) es equivalente a  $N_u, M_u$  o esfuerzos iniciales (1)

▶ Al tomar momentos respecto a la armadura a tracción podemos usar las mismas expresiones que en flexión simple

★ ECUACIONES DE EQUILIBRIO



$$(1) \sum F = N_u \quad C + A_2\sigma_2 - A_1\sigma_1 = N_u$$

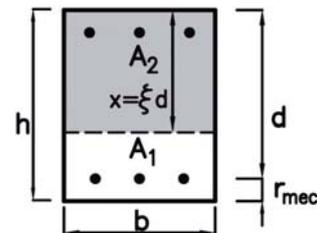
$$(2) \sum M = N_u \cdot e \quad C \cdot (d - C_2 \cdot x) + A_2\sigma_2 (d - d_2) = N_u \cdot e$$

- ▶ Flexión compuesta: Flector más importante que el axil. Dominios 3 y 4
- ▶ Compresión compuesta: Axil más importante que el flector. Dominios 4a. 5
- ▶ En compresión compuesta no puede aplicarse un criterio de rotura dúctil  
El hormigón y la armadura se acortan menos del 3.5‰ (Dominio 5)  
Se suele dimensionar con armadura simétrica:  $A_1 = A_2$

★ Se obtienen al dividir:

- ▶ Longitudes por el canto útil "d"
- ▶ Fuerzas por "b · d · f<sub>cd</sub>"
- ▶ Momentos por "b · d<sup>2</sup> · f<sub>cd</sub>"

Capacidad mecánica:  $U_1 = A_1 \cdot f_{yd}$  ;  $U_2 = A_2 \cdot f_{yd}$



★ Definimos los siguientes parámetros:

Momento reducido	$\mu = \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
Axil reducido (compresión compuesta)	$\nu = \frac{N}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$
Cuantía mecánica de la armadura traccionada $A_1$ y comprimida $A_2$	$\omega_1 = \frac{A_1 \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$ ; $\omega_2 = \frac{A_2 \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$
Profundidad relativa del eje neutro	$\xi = x/d$

★ **DIMENSIONAR**: Conocido  $M_d$  obtener  $U_1, U_2$  (del flector calcular la armadura)  
PROBLEMA INDETERMINADO (varias soluciones). Se buscará una solución óptima

★ **COMPROBAR**: Conocido  $U_1, U_2$  obtener  $M_u$  (del armado calcular lo que resiste)

$$M_u \geq M_d$$

PROBLEMA DETERMINADO (solución única pues una sección resiste un único  $M_u$ )

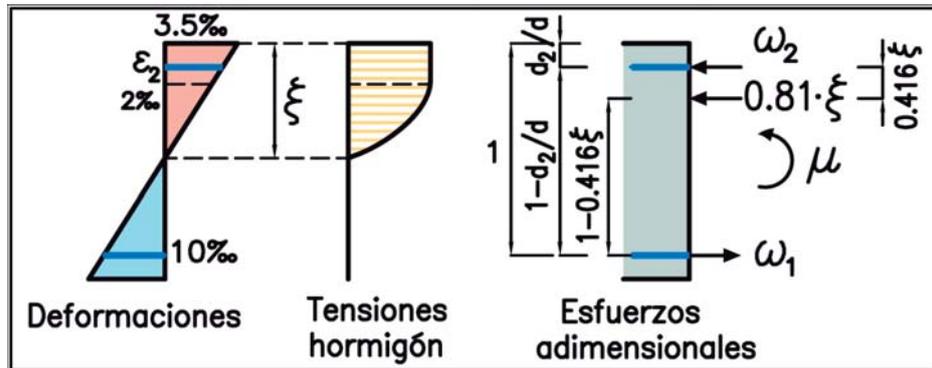
★ **DESARROLLO ECUACIONES DOMINIO 3:**  $0.259 \leq \xi = x/d \leq 0.617$

Valores de los parámetros  $C_1, C_2, C_3$ :  $\begin{cases} C_1 = 1 & (\alpha_c = 1, \text{ cansancio del hormigón}) \\ C_2 = 0.416 & (\text{c.g. del área del bloque}) \\ C_3 = 0.81 & (\text{Area del bloque de compresiones}) \end{cases}$

★ **RESULTANTE (o volumen) del bloque de compresiones:**

$$C = C_3 \cdot (C_1 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd}) = 0.81 \cdot (b \cdot x \cdot f_{cd}) \xrightarrow[\text{dividir } b \cdot d \cdot f_{cd}]{\text{E. ADIMENSIONALES}} 0.81 \cdot \xi$$

★ **ECUACIONES ADIMENSIONALES:**  $\begin{cases} 0 = 0.81 \cdot \xi - \omega_1 + \omega_2 \\ \mu = 0.81 \cdot \xi \cdot (1 - 0.416 \cdot \xi) + \omega_2 \cdot (1 - d_2/d) \end{cases}$



★ Si NO existe armadura a compresión  $\omega_2 = 0$   $\begin{cases} 0 = 0.81 \cdot \xi - \omega_1 \\ \mu = 0.81 \cdot \xi \cdot (1 - 0.416 \cdot \xi) \end{cases}$

➔ **DIMENSIONADO:**  $\mu_d$  Momento conocido ➔  $\omega_1$  Calcular armadura

➔ **COMPROBACION:**  $\omega_1$  Armadura conocida ➔  $\mu_u$  Obtener flector agotamiento  
Debe ser  $\mu_d \leq \mu_u$

★ Si existe armadura a compresión  $\omega_2$

➔ El dimensionado es indeterminado

➔ Se establecen unas condiciones de dimensionado óptimo

★ **APROVECHAMIENTO ARMADURA A TRACCION: No entrar en Dominio 4:**

$$\begin{matrix} x_{lim,t} = 0.617 \cdot d \\ \xi_{lim,t} = 0.617 \end{matrix} \begin{cases} 0 = 0.81 \cdot \xi - \omega_1 \\ \mu = 0.81 \cdot \xi \cdot (1 - 0.416 \cdot \xi) \end{cases} \begin{cases} \omega_{lim,t} = 0.81 \cdot 0.617 = 0.50 \\ \mu_{lim,t} = 0.81 \cdot 0.617 \cdot (1 - 0.416 \cdot 0.617) = 0.371 \end{cases}$$

En el caso de que  $\mu_d > 0.371$  ó  $\omega_1 > 0.5$  (superen los valores límites):

➔ O se aumentan las dimensiones de las sección ( $d$  ó  $b$ )

➔ O se dispone **ARMADURA a COMPRESION**

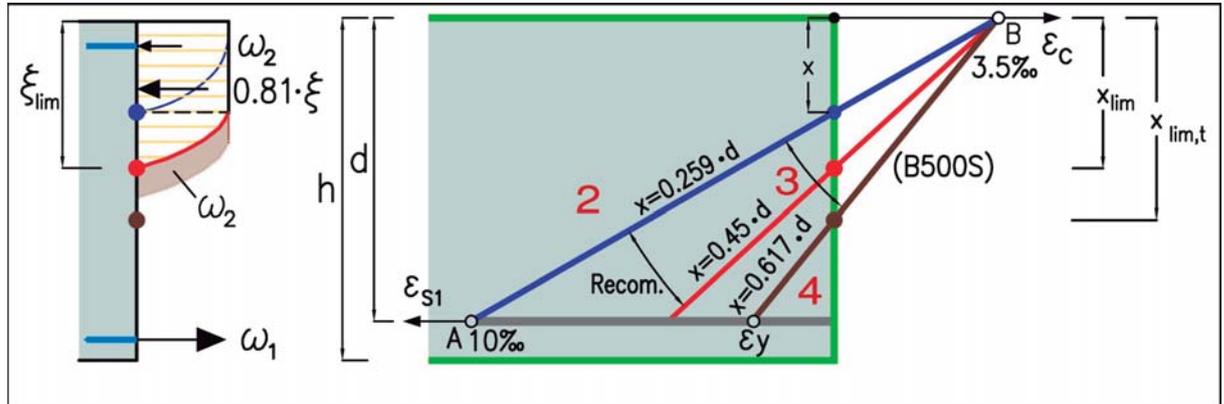
➔ Aumentar  $f_{cd}$  es poco efectivo

★ **PROFUNDIDAD RELATIVA RECOMENDADA:**

Para  $\xi$  que se aproxima a 0.617 (valor límite  $\xi_{lim,t}$ ) ocurre:

- ▶ Amplias compresiones en el hormigón que provocan una elevada fluencia
- ▶ Comportamiento frágil a la rotura. Menor capacidad de redistribución de esfuerzos
- ▶ Menor capacidad de resistencia a acciones dinámicas (acciones sísmicas)

Por ello muchas normas recomiendan no superar  $\xi_{lim} = 0.45$  :



**Conclusión:**

Si  $\xi > 0.45$  ó  $\omega_1 > 0.364$ , se coloca armadura a compresión para que  $\xi \leq 0.45$ :

$$0 = 0.81 \cdot \xi - \omega_1 + \omega_2 \rightarrow \xi = (\omega_1 - \omega_2) / 0.81 \rightarrow \text{Si } \omega_2 \uparrow \rightarrow \xi \downarrow$$

★ **EXPRESIONES DE DIMENSIONADO EN DOMINIO 3**

- ▶ Dimensionar sin armadura a compresión si **NO SE ALCANZAN** los valores límites  $\xi_{lim} = 0.45$  ;  $\mu_{lim} = 0.296$  ;  $\omega_{lim} = 0.364$

$$\begin{matrix} x_{lim} = 0.45 \cdot d \\ \xi_{lim} = 0.45 \end{matrix} \begin{cases} 0 = 0.81 \cdot \xi - \omega_1 \\ \mu = 0.81 \cdot \xi \cdot (1 - 0.416 \cdot \xi) \end{cases} \begin{cases} \omega_{lim} = 0.81 \cdot 0.45 = 0.364 \\ \mu_{lim} = 0.81 \cdot 0.45 \cdot (1 - 0.416 \cdot 0.45) = 0.296 \end{cases}$$

Dimensionado:  $\mu_d \rightarrow \omega$  resolver polinomio de 2º grado

- ▶ Para flectores superiores se dispondrá armadura a compresión  $\omega_2$ :

$$\text{Las expresiones son: } \begin{cases} 0 = 0.364 - \omega_1 + \omega_2 \\ \mu_d = 0.296 + \omega_2 \cdot (1 - d_2/d) \end{cases} \begin{cases} \omega_1 = 0.364 + \omega_2 \\ \omega_2 = \frac{\mu_d - 0.296}{1 - d_2/d} \end{cases}$$

- ▶ En Dominio 2 la resolución de las ecuaciones anteriores es más complicada ya que  $C_2$  y  $C_3$  no son fijos, depende del canto útil  $d$ . Además se hace  $\omega_2 = 0$

- ★ Se denomina **CANTO MINIMO RECOMENDADO** aquel cuya profundidad del eje neutro es el valor límite recomendado  $x_{lim} = 0.45 \cdot d$ :

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d_{min}^2 \cdot f_{cd}} = 0.296 \rightarrow d_{min} = 1.84 \cdot \sqrt{\frac{M_d}{b \cdot f_{cd}}}$$

Puede ser útil en un predimensionado para no disponer armadura a compresión.  
**VIGAS PLANAS:** el canto suele ser inferior al mínimo  $\rightarrow$  armadura a compresión

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 9 : FLEXION : DIMENSIONADO

DIMENSIONADO FLEXION SIMPLE		Cálculo de $\mu_d$ $\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
1) Si $\mu_d \leq 0.296$ NO necesaria armadura a compresión	1a) $\mu_d \rightarrow \omega_1$ (Tabla 9.1) 1b) $U_1 = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$	
2) Si $\mu_d > 0.296$ ES necesaria armadura a compresión	2a) $\omega_2 = \frac{\mu_d - 0.296}{(1 - d_2/d)}$ $U_2 = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$ 2b) $\omega_1 = 0.364 + \omega_2$ $U_1 = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}$	
COMPROBACION FLEXION SIMPLE		$M_d \leq M_u \rightarrow \mu_d \leq \mu_u$ $\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
$\omega_1 = \frac{A_1 \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$ $\omega_2 = \frac{A_2 \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$ $\omega_0 = \omega_1 - \omega_2$		
1) Si $\omega_0 \leq 0 \rightarrow \mu = \omega_1 (1 - d_2/d)$ (Armado inadecuado, $A_2$ supera a $A_1$ )		
2) Si $0 < \omega_0 \leq \omega_{lim} = 0.364$	$\omega_0 \rightarrow \mu_0$ (Tabla 9.1) (Recomendado: DÚCTIL)	$\mu = \mu_0 + \omega_2 (1 - d_2/d)$ Si $\xi < 0.166 \rightarrow \omega_2 = 0$
3) Si $0.364 < \omega_0 \leq 0.50$	$\omega_0 \rightarrow \mu_0$ (Tabla 9.1) (Supera el valor recomendado pero es válido)	$\mu = \mu_0 + \omega_2 (1 - d_2/d)$
4) Si $\omega_0 > \omega_{lim,t} = 0.50$	$\mu = 0.296 + \omega_2 (1 - d_2/d)$ (Dominio 4: FRÁGIL)	

REF. 6

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 9 : FLEXION : DIMENSIONADO

DOMINIO	$\mu$	$\omega$	$\xi$	$C_2$	$C_3$	DOMINIO	$\mu$	$\omega$	$\xi$	$C_2$	$C_3$
2a	0.01	0.0102	0.0459	0.341	0.221	3	0.19	0.2134	0.2636	0.416	0.81
	0.02	0.0205	0.0658	0.344	0.311		0.20	0.2263	0.2796		
	0.03	0.0309	0.0816	0.348	0.348		0.21	0.2395	0.2958		
	0.04	0.0414	0.0953	0.351	0.434		0.22	0.2529	0.3123		
	0.05	0.0520	0.1078	0.354	0.482		0.23	0.2665	0.3292		
	0.06	0.0627	0.1194	0.358	0.525		0.232	0.27	0.33		
	0.07	0.0735	0.1305	0.361	0.563		0.24	0.2804	0.3464		
	0.08	0.0844	0.1413	0.365	0.597		0.25	0.3018	0.3639		
	0.09	0.0953	0.1518	0.369	0.628		0.26	0.3091	0.3818		
	0.10	0.1064	0.1623	0.373	0.656		0.27	0.3239	0.4001		
	0.105	0.1111	0.1667	0.375	0.667		0.28	0.3391	0.4189		
2b	0.11	0.1177	0.1728	0.378	0.681	0.29	0.3546	0.4381			
	0.12	0.1291	0.1853	0.383	0.703	límite	0.296	0.3643	0.45		
	0.13	0.1406	0.1943	0.388	0.724	recomendado	0.30	0.3704	0.4577		
	0.14	0.1523	0.2053	0.393	0.742	0.31	0.3869	0.4780			
	0.15	0.1642	0.2164	0.399	0.759	0.32	0.4038	0.4988			
	0.16	0.1762	0.2277	0.403	0.774	0.33	0.4211	0.5202			
	0.17	0.1884	0.2391	0.408	0.788	0.34	0.4391	0.5424			
	0.18	0.2008	0.2507	0.413	0.801	0.35	0.4576	0.5653			
	0.187	0.2099	0.2593	0.416	0.810	0.36	0.4768	0.5890			
					límite	0.37	0.4968	0.6137			
					Dominio 4	0.371	0.50	0.617			

2a: Sólo parábola (parcial)

2b: Parábola - rectángulo (parcial)

3 : Parábola - rectángulo (completo  $C_2, C_3$  fijos)  $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ Límite recomendado } \xi < 0.45 \\ \bullet \text{ Dominio 4: no permitido. Debe ser } \xi < 0.617 \end{array} \right.$

TEMA 9. APÉNDICE 1. Expresiones  $\mu \rightarrow \omega$   $\omega \rightarrow \mu$

REF. 7

Sección  $b \cdot h = 0.3 \text{ m} \cdot 0.5 \text{ m}$ , solicitada por  $M_d = 245 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
HA-25, B500S.  $\gamma_c = 1.5$ ,  $\gamma_s = 1.15$   $r_{\text{mec}} = 0.04 \text{ m}$

**DIMENSIONADO**

1a) Flector reducido:

$$\mu_d = \frac{245 \text{ kN} \cdot \text{m}}{0.3 \text{ m} \cdot (0.5 - 0.04)^2 \text{ m}^2 \cdot \frac{25000 \text{ kN}}{1.5 \text{ m}^2}} = 0.232$$

\* Como  $\mu_d = 0.232 \leq 0.296$  → No es necesaria armadura a compresión

1b) Cuantía mecánica  $\omega_1$ :

\*  $\mu_d = 0.232 \rightarrow \omega_1 \approx 0.269$ ;  $\xi \approx 0.33 > 0.259$  (Dominio 3),  $x = 0.33 \cdot 0.46 = 0.152 \text{ m}$

1c) Capacidad mecánica  $U_1$ . Área estrictamente necesaria de armadura  $A_{s,\text{est}}$

$$U_1 = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} = 0.269 \cdot 0.3 \cdot 0.46 \cdot \frac{25000}{1.5} = 618.7 \text{ kN}$$

$$A_{s,\text{est}} = \frac{U_1}{f_{yd}} = \frac{618.7 \cdot 10^3}{500/1.15} = 1423 \text{ mm}^2$$

\* Se adopta  $5\phi 20$

$$U_1 = 682.95 \geq 618.7 \text{ kN}; A_1 = 15.71 \geq 14.23 \text{ cm}^2$$

1d) Comprobación sección armada con  $5\phi 20$ :

$$U_{1,5\phi 20} = 682.95 \text{ kN}$$

$$\omega_1 = \frac{682.95 \cdot 10^{-3}}{0.3 \cdot 0.46 \cdot 250/1.5} = 0.297; \omega_2 = 0$$

$$\omega_0 = 0.297 < \omega_{\text{lim}} = 0.364$$

$\omega_2$ , aunque exista por montaje, no se tendrá en cuenta

\*  $\omega_0 = 0.297 \rightarrow \mu_u \approx 0.252$

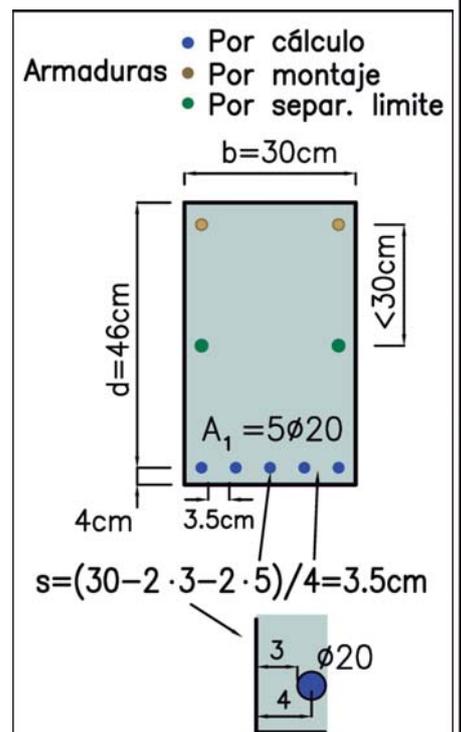
$$\xi = 0.367 < 0.45 \text{ (Dominio 3)}$$

\* La comprobación de la sección consiste en:

$$M_u = 0.252 \cdot 0.3 \cdot 0.46^2 \cdot (25/1.5) \cdot 10^3 = 266.2 \text{ kNm}$$

$$M_d = 245 \text{ kNm} \leq M_u = 266.2 \text{ kNm}$$

Nota: la separación de armaduras "s" debe ser superior a 2 cm ó un  $\phi$  (Tema 11)



Sección  $b \cdot h = 0.5 \text{ m} \cdot 0.3 \text{ m}$ , solicitada por  $M_d = 245 \text{ kNm}$   
HA-25 , B500S  $\gamma_c = 1.5$  ,  $\gamma_s = 1.15$   $r_{mec} = 0.04 \text{ m}$

**DIMENSIONADO**

1a) Flector reducido:  $\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{245 \text{ kNm} \cdot 10^{-3}}{0.5 \text{ m} \cdot (0.3 - 0.04)^2 \text{ m}^2 \cdot 25/1.5} = 0.435$

Como  $\mu_d = 0.435 \geq 0.296 \rightarrow$  **Es necesaria** armadura a compresión

1b) Cuantía mecánica a compresión  $\omega_2$  :  $\omega_2 = \frac{\mu_d - 0.296}{1 - d_2/d} = \frac{0.435 - 0.296}{1 - 0.04/0.26} = 0.164$

$U_2 = \omega_2 b d f_{cd} = 0.164 \cdot 0.5 \cdot 0.26 \cdot 25/1.5 = 355.70 \text{ kN}$

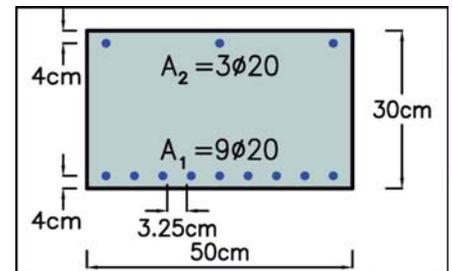
Se adopta **3 $\phi$ 20** ( $U_2 = 409.77 \text{ kN}$ ,  $A_2 = 9.42 \text{ cm}^2$ )

1c) Cuantía mecánica a tracción  $\omega_1$  :  $\omega_1 = \omega_2 + 0.364 = 0.164 + 0.364 = 0.528$

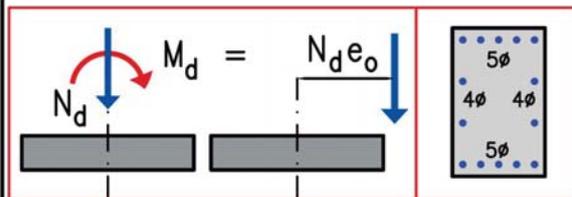
$U_1 = \omega_1 b d f_{cd} = 0.528 \cdot 0.5 \cdot 0.26 \cdot 25/1.5 = 1144.36 \text{ kN}$

Se adopta **9 $\phi$ 20** ( $U_1 = 1229.32 \text{ kN}$ ,  $A_1 = 28.26 \text{ cm}^2$ )

- Separación armaduras:  $(50 - 2 \cdot 3 - 9 \cdot 2)/8 = 3.25 \text{ cm}$
- Viga plana: 12 $\phi$  ; Viga de canto: 5 $\phi$  (Total: 9 $\phi$ )



**\* Dimensionado armadura simétrica**



- Soportes de edificación
- Posibilidad de cambio de signo de  $M_d$
- Simplificación constructiva
- Excentricidad de escasa magnitud
- Necesidad de mayor cuantía de armadura

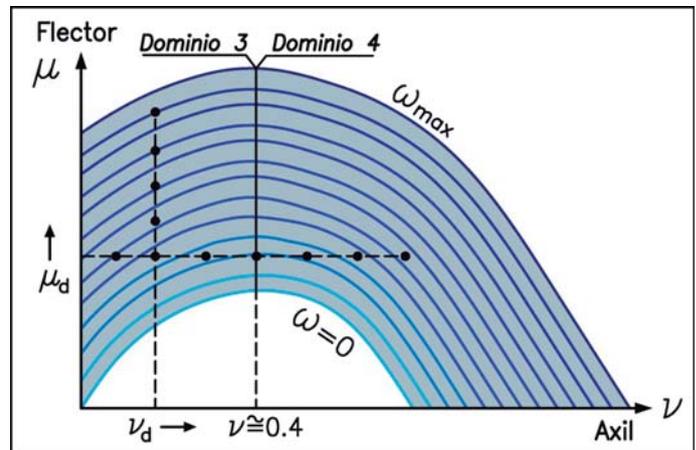
**\* Se usan ÁBACOS DE INTERACCIÓN**

$\mu_d = \frac{N_d \cdot e_o}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} ; \nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$

$M_d / N_d = e_o \rightarrow$

$\omega_{total} = \frac{A \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$

- $N=Cte$ , si  $M \uparrow$ , entonces  $\omega \uparrow$
- $M=Cte$ , si  $N \uparrow$ , Para  $\nu \approx 0.4$ ,  $\omega \downarrow$   
Para  $\nu \approx 0.4$ ,  $\omega \uparrow$
- Si  $\omega = 0$  o muy pequeño, se dimensiona con  $\omega_{mínima}$  (Tema 11)
- Los ábacos dependen del recubrimiento relativo  $d_2/h$
- Se considera  $\alpha_c = 0.85$  (cansancio del hormigón). En muchos programas,  $\alpha_c = 1$

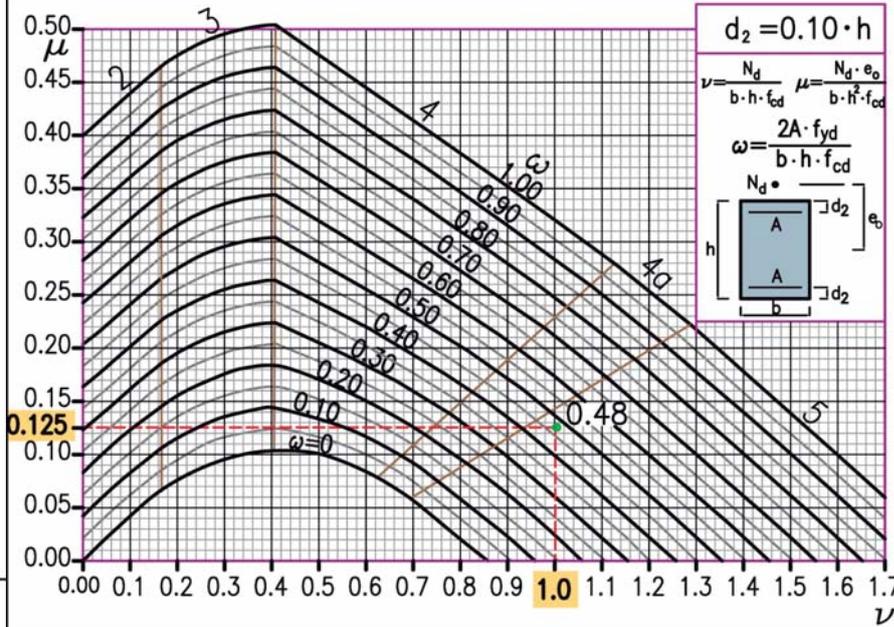


ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 9 : FLEXION : DIMENSIONADO  
REF. 12

★ **DIMENSIONADO:**  $M_d = 100 \text{ kN}\cdot\text{m}$   $N_d = 2000 \text{ kN}$  (Momento y axil:  $M_d = N_d \cdot e_0$ )  
**Sección:**  $b \cdot h = 0.3 \cdot 0.4 \text{ m}^2$   
**Recubrimiento** 0.04 m  
**HA-25 ; B400S,  $\gamma_c = 1.5, \gamma_s = 1.15, \alpha_c = 0.85$**   
**Diagrama de interacción para  $d_2/h=4/40=0.1$**

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0.3 \cdot 0.4^2 \cdot 25 / 1.5} = 0.125$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{2000 \cdot 10^{-3}}{0.3 \cdot 0.4 \cdot 25 / 1.5} = 1.00$$

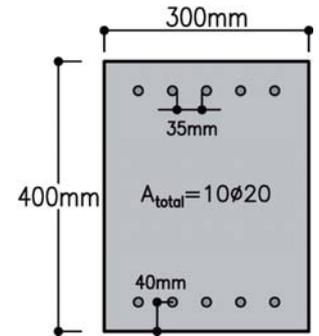


$$U_{total} = A_{total} \cdot f_{yd} = \omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

$$= 0.48 \cdot 0.3 \cdot 0.4 \cdot (25/1.5) \cdot 10^3$$

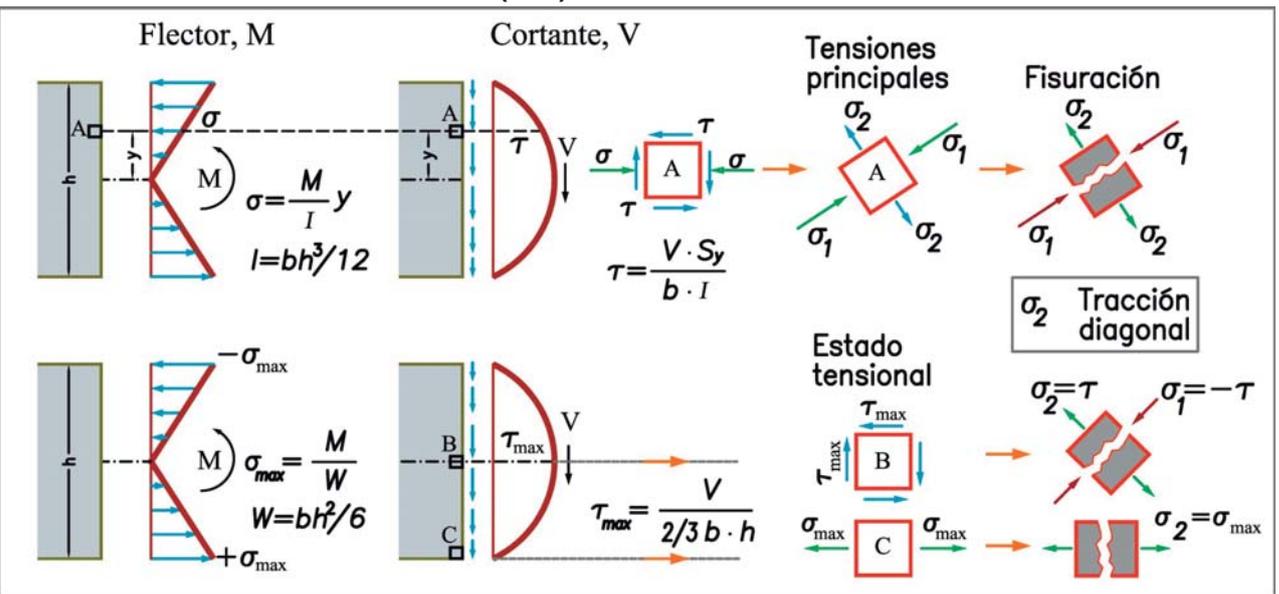
$$= 960 \text{ kN}$$

Se adopta 10φ20:  
(1092.7 kN)<sub>10φ20</sub> ≥ 960 kN  
con 5φ20 en cada cara



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 10 : CALCULO A CORTANTE  
REF. 1

★ **FLEXIÓN SIMPLE:**  $M \rightarrow \sigma ; V \rightarrow \tau$   
 ➔ **Distribución de tensiones (RM):**



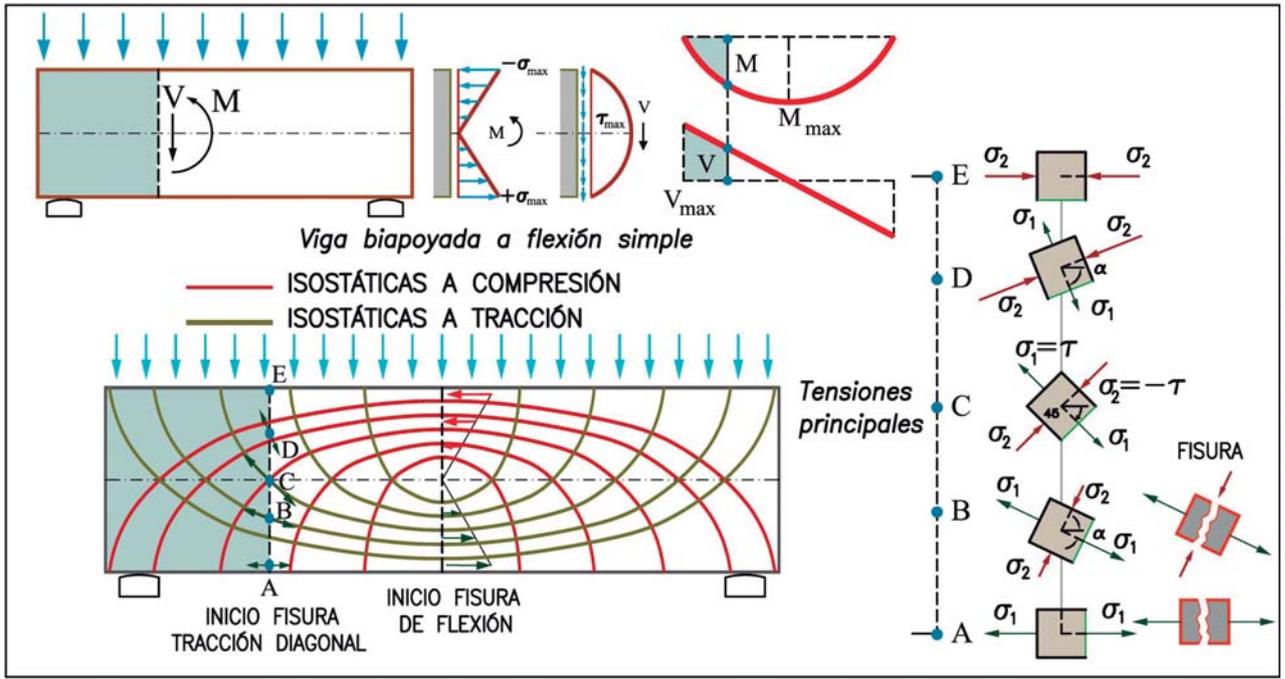
★ **TRACCIÓN DIAGONAL:** esfuerzos de tracción debidos a combinar  $\sigma$  y  $\tau$

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 10 : CALCULO A CORTANTE

REF. 2

Sea la viga biapoyada con carga uniforme:

- \* **LÍNEAS ISOSTÁTICAS:** siguen la dirección de las tensiones principales
- \* La viga **inicia** su fisuración donde la tensión de tracción sea máxima  
Las tensiones se redistribuyen modificándose los mecanismos resistentes



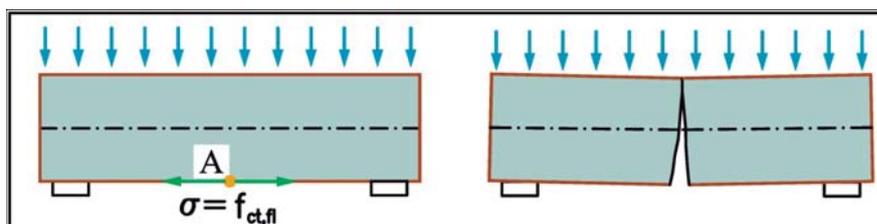
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 10 : CALCULO A CORTANTE

REF. 3

- \* Ocurre en la dirección normal a la máxima tensión de TRACCIÓN (debida al flector) o TRACCIÓN DIAGONAL (debida a la interacción flector-cortante)

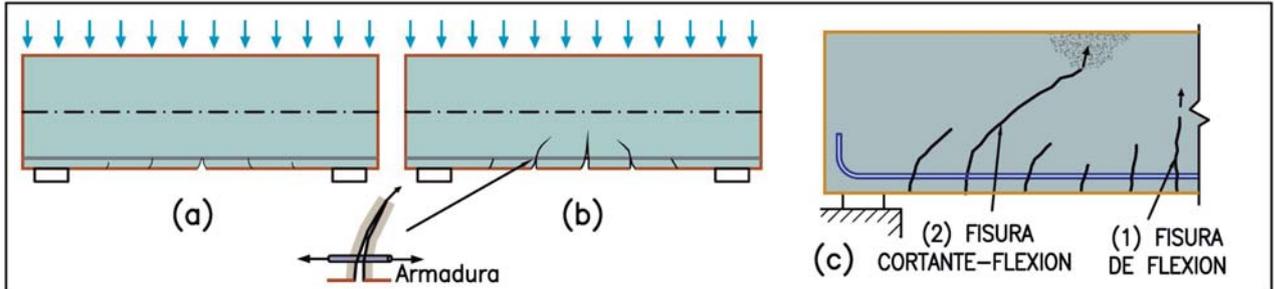
① **VIGAS SIN NINGÚN TIPO DE ARMADURA**

- ▶ La fisuración se inicia en la sección de  $M_{max}$
- ▶ En esa sección la fibra inferior ( $M+$ ) se fisura (A) al alcanzar su resistencia a flexotracción  $f_{ct,fl} = M_f/W$  siendo  $M_f$  el momento de fisuración
- ▶ La fisura avanza rápido en vertical  
La pieza se parte en dos trozos  
El cortante no influye
- ▶ Ejemplo: elementos de hormigón en masa  
Ensayo a flexotracción



### 2 VIGAS CON ARMADURA LONGITUDINAL

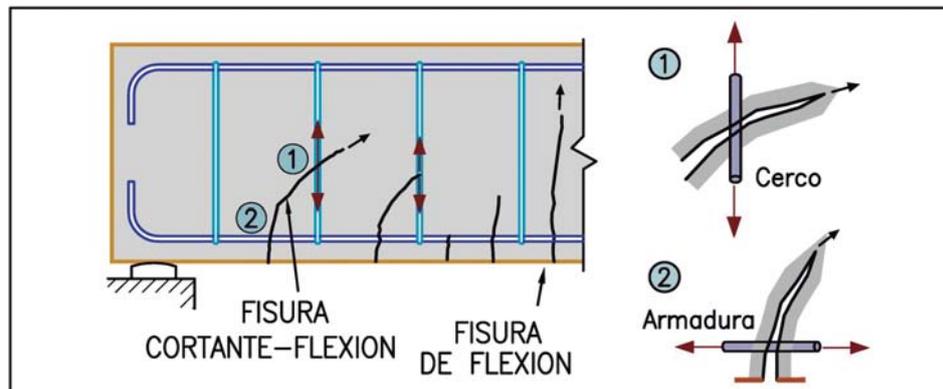
- ▶ Se inician fisuras de flexión en las fibras inferiores  
Avanzan hasta la armadura a tracción y se detienen (a)
- ▶ La armadura entra en carga y se alarga, especialmente en la fisura
- ▶ Algunas fisuras aparecen sobre la armadura de tracción (b)
- ▶ Algunas fisuras siguen abriéndose y avanzan hacia arriba de la viga (c)



#### Tipos de fisuración:

- (1) FISURA DE FLEXIÓN: escasa influencia del cortante. La rotura ocurre por flexión:
- ▶ Excesivo alargamiento del acero
  - ▶ Aplastamiento del hormigón
- (2) FISURA DE CORTANTE- FLEXIÓN: Influencia del cortante que debido a la tracción diagonal inclina la fisura que sube hasta la zona comprimida de hormigón:
- ▶ La pieza rompe por debilitamiento de la zona comprimida debido al cortante

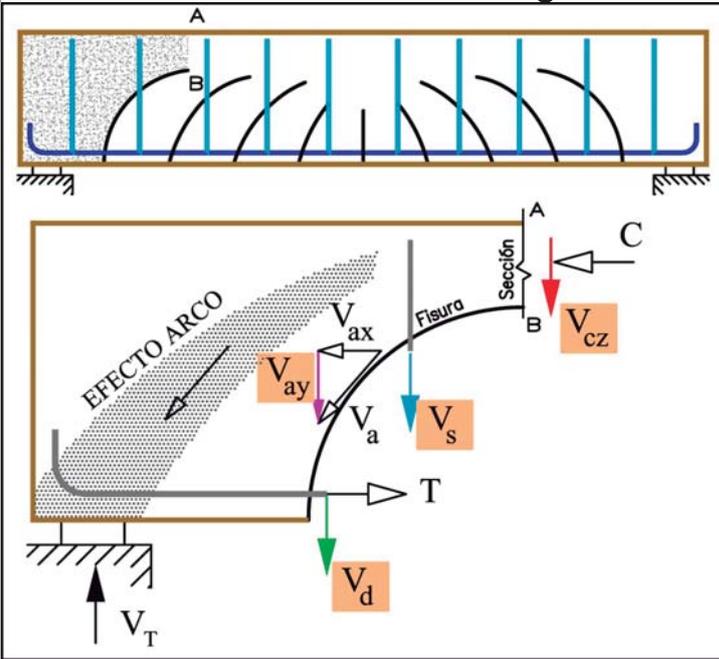
### 3 VIGAS CON ARMADURA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL



- ▶ La armadura transversal impide el avance y abertura de la fisuración diagonal. No interviene hasta que la fisura la alcanza
- ▶ Aumenta su tracción hasta la fluencia  $f_y$ . Las grietas siguen su avance. La viga soporta mayores cargas y podrá romper por una fisura de flexión
- ▶ La apertura de fisura es el alargamiento del acero entre caras de fisura
- ▶ Es menor a mayor  $\phi$  o mayor  $N^\circ$  de ramas de estribo que cruzan la fisura
- ▶ Las ramas de estribo normales a la viga no deben separarse demasiado del plano siguiente, pues cada fisura debe estar bien cosida por estribos

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 10 : CALCULO A CORTANTE

**MECANISMOS DE RESISTENCIA A CORTANTE** en vigas en las que se haya desarrollado una fisuración diagonal.



El cortante total  $V_T$  es la suma de las contribuciones de:

$$V_T = (V_{cz} + V_{ay} + V_d) + V_s$$

**Contribución hormigón:**

$V_{cz}$ : Área de hormigón comprimido

$V_{ay}$ : Engranamiento de áridos

$V_d$ : Efecto pasador

**Contribución armadura:**

$V_s$ : Armadura transversal

**Efecto arco:**

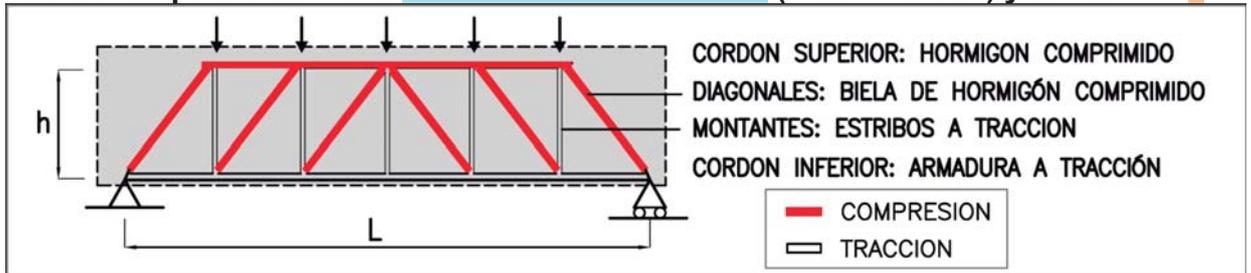
Sólo en el apoyo

REF. 6

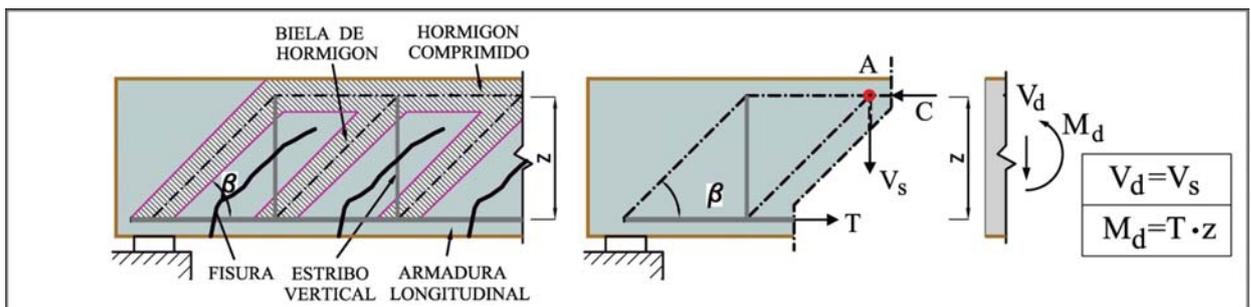
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 10 : CALCULO A CORTANTE

**CÁLCULO A CORTANTE:**

- Se basa en la similitud entre una viga de hormigón con estribos y una celosía de cordones paralelos. Es la **ANALOGIA DE CELOSIA (Ritter-Mörsch)** y canto " $h = z$ ":

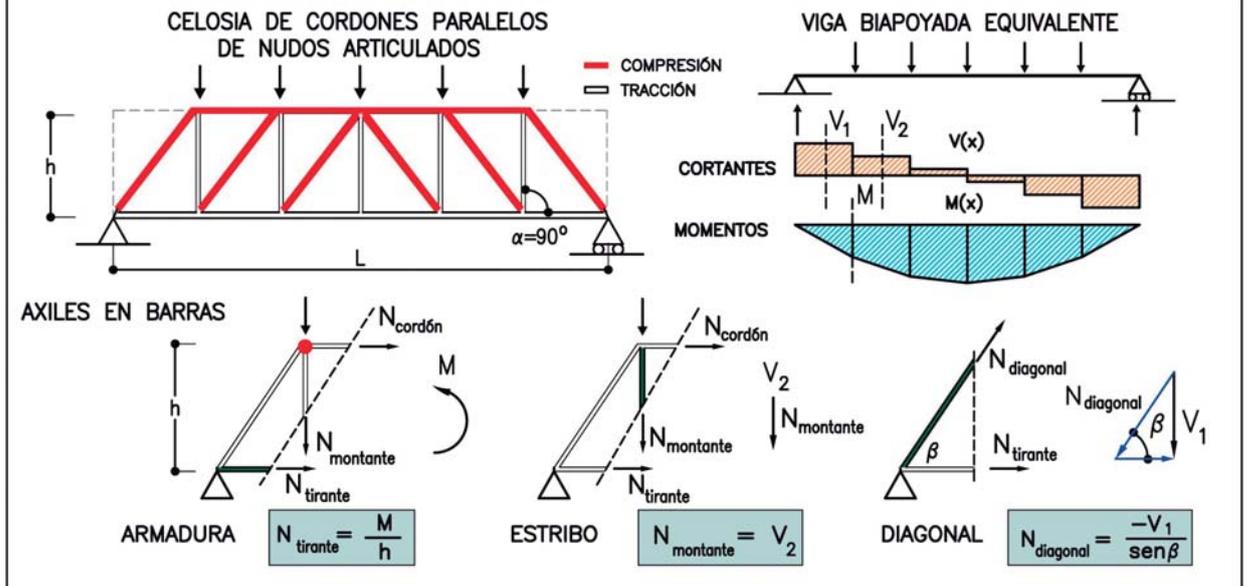


- El cortante  $V_d$  es la tracción del estribo vertical  $V_s$ :



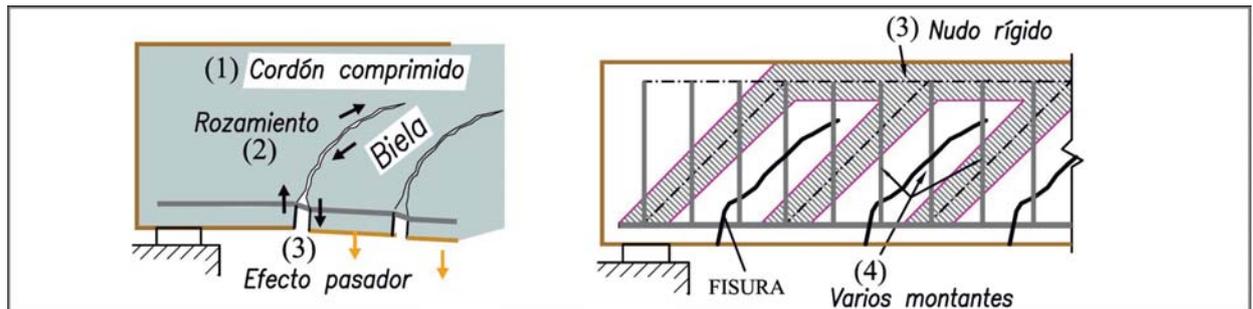
- El cálculo de axiles se realiza con el método de las secciones (**Cullman-Ritter**)

REF. 7



- ▶ La expresiones para el cálculo a cortante derivan del análisis de una celosía de cordones paralelos de canto  $h \approx 0.9 \cdot z$ :
  - Un estribo vertical ( $\alpha = 90^\circ$ ) soporta una tracción igual al cortante solicitante
  - En el hormigón se generan unas compresiones inclinadas  $27^\circ \leq \beta \leq 63^\circ$  (biela o diagonal). EHE-08: en esa zona la resistencia del hormigón es  $0.67 \cdot f_{cd}$

**DEFICIENCIAS DEL MODELO**

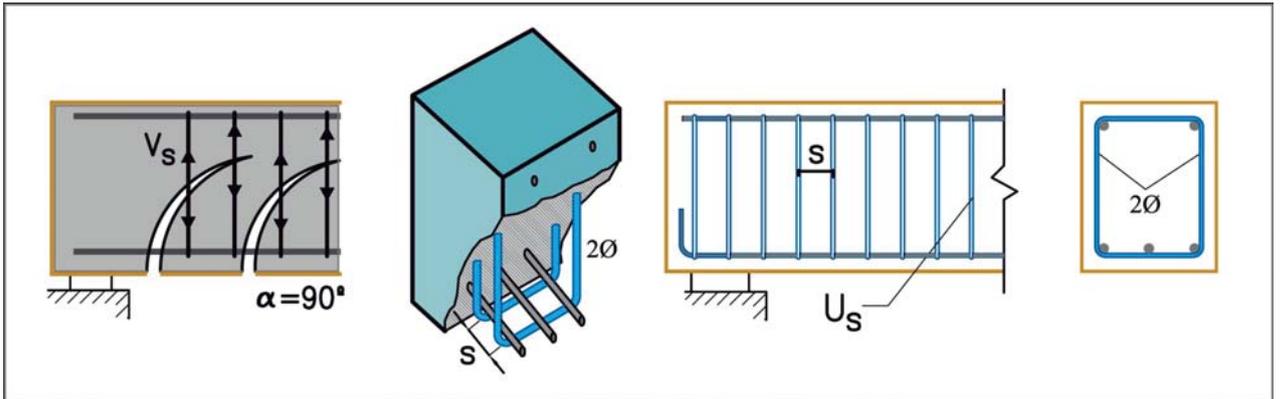


- ▶ Existen otras formas de resistir el cortante:
  - ➔ (1) Contribución del hormigón no fisurado comprimido
  - ➔ (2) Interacción entre bielas por rozamiento (engranamiento de áridos)
  - ➔ (3) Efecto pasador
  - ▶ (4) Varios montantes (estribos) cruzan una fisura diagonal
  - ▶ (5) Nudos rígidos como la unión diagonal comprimida con cordón superior
- ▶ **PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO EHE-08**, es la suma de las contribuciones de:
  - ▶ Del acero o estribos: Analogía de celosía
  - ▶ Del hormigón: resto de mecanismos para resistir el cortante (fórmulas empíricas)

**1 ARMADURA TRANSVERSAL (estribos)**

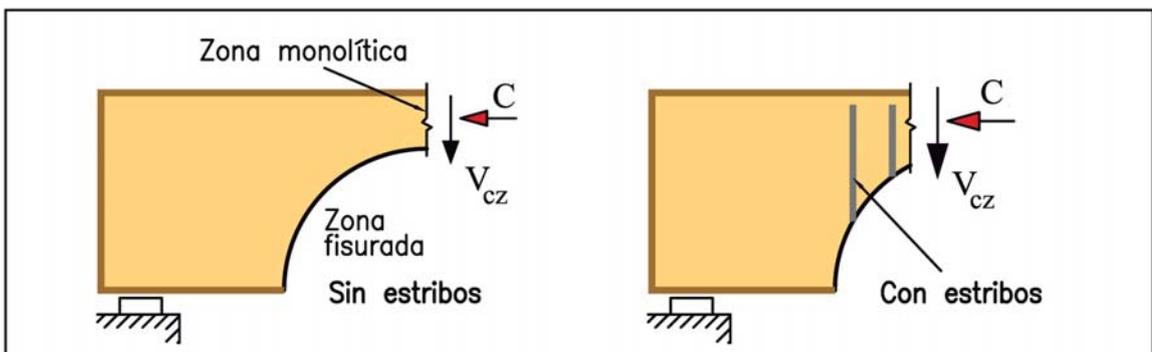
- ▶ Impide que se abra y progrese la fisuración inclinada
  - ➔ Trabaja a tracción con un esfuerzo  $V_s$
  - ➔ Su límite es la capacidad mecánica de la armadura
- ▶  $\alpha$  : Inclinación de estribos. Verticales: caso más habitual,  $\alpha = 90^\circ$ 

$$V_s = U_{90} = A_{90} \cdot f_{y90,d}$$
- ▶ Mejora la eficacia del resto de mecanismos de transferencia de cortante
- ▶ **Variables:** Separación estribos " $s$ " y capacidad mecánica  $U_s = U_{90}$



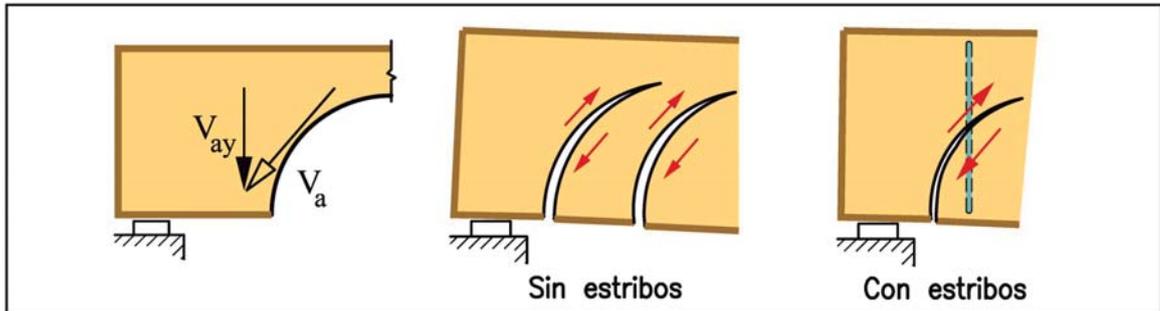
**2 TRANSMISIÓN EN EL ÁREA COMPRIMIDA DE HORMIGÓN**

- ▶ Es la resultante de tensiones tangenciales en la zona sin fisurar  $V_{cz}$  (lo que queda de la sección monolítica previa al inicio de la fisuración)
- ▶ La compresión  $C$  incrementa la resistencia a cortante (Ver Tema 3.3. Figura 3.7). Depende de  $f_{ck}$ .
- ▶ Con estribos:
  - Es mayor el área comprimida  $C$  al subir menos las fisuras inclinadas
  - Por tanto es mayor  $V_{cz}$



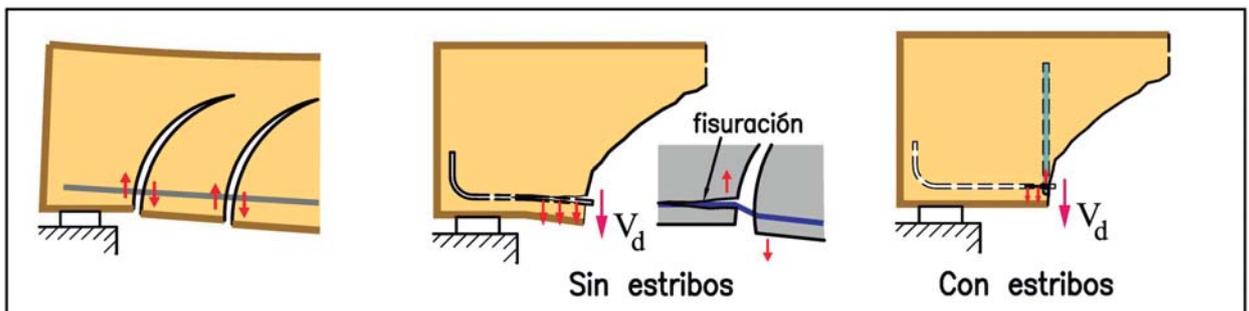
### 3 TRANSMISIÓN EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO

- ▶ Oposición al deslizamiento entre ambas caras de la fisura por rozamiento o *entrelazamiento* de áridos entre *dientes* (hormigón entre dos fisuras). Se denomina **ENGRANAMIENTO DE ÁRIDOS**
- ▶ Depende del **canto útil de la viga  $d$**  y tamaño máximo de árido
  - ↑ Canto → ↓ Engranamiento
- ▶ En vigas sin estribos, el fenómeno es muy aleatorio
- ▶ En vigas con estribos, ésta impide que se abra la fisura, manteniendo las dos superficies en contacto (30-50% cortante total)



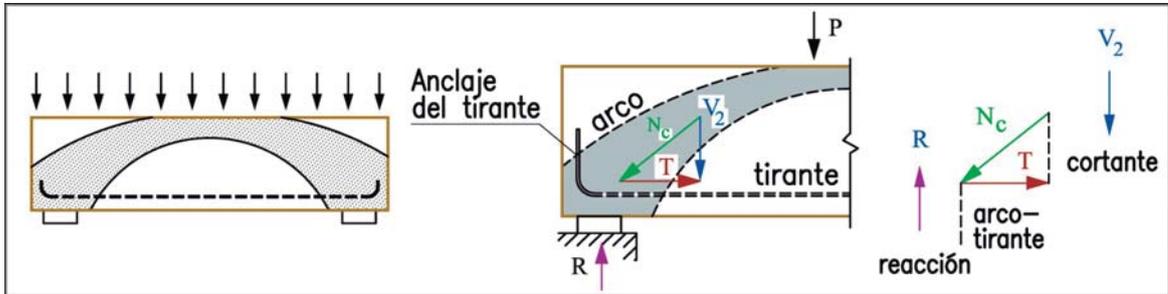
### 4 EFECTO PASADOR

- ▶ Resistencia debida a la armadura que atraviesa el plano de contacto entre dos hormigones sometidos a fuerzas tangentes al plano
- ▶ Sin estribos, el efecto es pequeño. Se puede originar una fisuración que avanza hacia el apoyo
- ▶ Con estribos: éstas sujetan la armadura longitudinal, aumentando la eficacia
- ▶ Depende de la cuantía de armadura longitudinal a tracción:  $A_{s1}$  (15-25% del cortante total)



**5 EFECTO ARCO**

- ▶ Transmisión del cortante  $V_2$  que se descompone en:
  - ➔  $N_c$  : biela o región comprimida de hormigón
  - ➔  $T$  soportada por la armadura inferior a tracción (TIRANTE)



- ▶ No es un mecanismo estricto de cortante, pues no existen tensiones tangenciales (mecanismo biela-tirante)
- ▶ Los estribos no intervienen
- ▶ En el apoyo: aunque V es máximo, los estribos son menos necesarios
- ▶ Depende de la relación luz/canto y de la cuantía de armadura en apoyos
- ▶ El tirante debe estar bien anclado en el apoyo

\* Hay dos comprobaciones de agotamiento ( $V_d$  : cortante de cálculo debido a las cargas). Comportamiento similar a una celosía:

- ① Por compresión en el alma

$$V_{d1} \leq V_{u1}$$

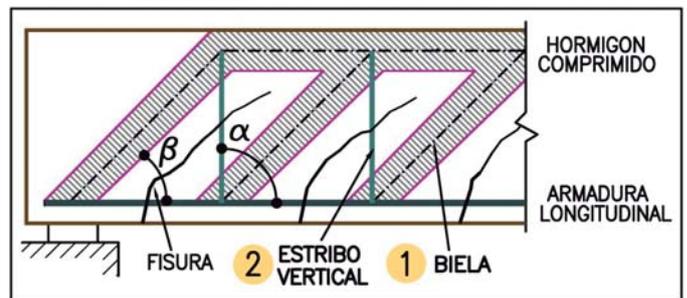
- ② Por tracción en el alma

$$V_{d2} \leq V_{u2}$$

Inclinación:

$\beta$ : Biela ( $\beta = 45^\circ$ )

$\alpha$ : Armadura a cortante ( $\alpha = 90^\circ$ )



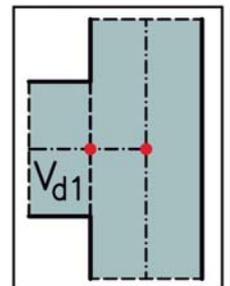
- ▶ Piezas con armadura transversal:

Estribos obligados en vigas y pilares. Pueden no colocarse en losas, soleras, placas, muros, zapatas, etc.

- ① AGOTAMIENTO POR COMPRESIÓN EN EL ALMA

- ➔ En el caso de estribos verticales y bielas a  $45^\circ$ :

$$V_{d1} \leq V_{u1} = 0.30 \cdot b_0 \cdot d \cdot f_{cd}$$



- ➔ Comprobación que no suele ser limitante en secciones rectangulares
- ➔ De no cumplirse deben aumentarse las dimensiones (especial.  $b_0$ )

2 AGOTAMIENTO POR TRACCION EN EL ALMA

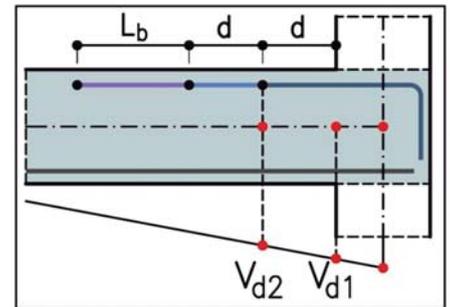
$$V_{d2} \leq V_{u2} = V_{su} + V_{cu} \rightarrow V_{su} = V_{d2} - V_{cu}$$

► **Contribución del hormigón:**

$$V_{cu} = 0.1 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_o \cdot d \quad V_{cu} \text{ en } N/mm^2$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad (d \text{ en mm}) ; \quad \rho_l = \frac{A_s}{b_o \cdot d} \leq 0.02$$

$\rho_l$ : Cuantía geométrica de la armadura a TRACCION.  
Debe existir una longitud  $L \geq d + L_b$  ( $L_b$ : longitud de anclaje) para ser tenida en cuenta



**Nota:** en el nudo M es (-) → tracción en la cara superior. ¡Cuidado con las unidades!

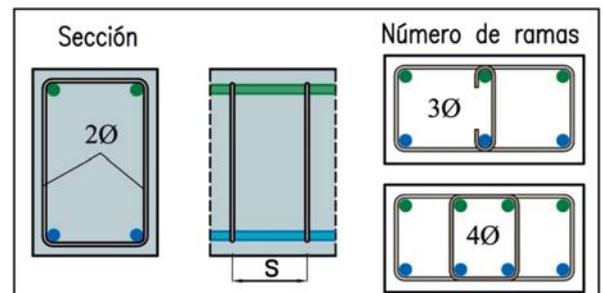
► **Contribución estribos verticales:**

$$V_{su} = \frac{0.9 \cdot d}{s} \cdot A_{90} \cdot f_{y90,d}$$

s: separación entre estribos

$A_{90}$ : cada cerco: 2 ramas ( $2\phi$ )

$f_{y90,d} \leq 400 N/mm^2$



Sección  $b \cdot h = 0.3 \text{ m} \cdot 0.5 \text{ m}$ , solicitada por  $V_d = 200 \text{ kN}$ ;  $A_1 = 15.71 \text{ cm}^2$  ( $5\phi 20$  B500S) HA-25, Estribo B500S,  $\gamma_c = 1.5$ ,  $\gamma_s = 1.15$ ,  $r_{mec} = 0.04 \text{ m}$ .

• **Esfuerzo cortante de agotamiento por COMPRESIÓN oblicua del alma**

$$V_{u1} = 0.30 \cdot b_o \cdot d \cdot f_{cd} = 0.30 \cdot 0.3 \cdot 0.46 \cdot 25000 / 1.5 = 690 \text{ kN} \geq V_d = 200 \text{ kN}$$

• **Esfuerzo cortante de agotamiento por TRACCIÓN en el alma**

► **Contribución del hormigón**

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{460 \text{ mm}}} = 1.66 \leq 2 ; \quad \rho_l = \frac{A_s}{b_o \cdot d} = \frac{1571 \text{ mm}^2}{300 \text{ mm} \cdot 460 \text{ mm}} = 0.011 < 0.02$$

$$V_{cu} = 0.1 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{cu} = 0.10 \cdot 1.66 \cdot (100 \cdot 0.011 \cdot 25)^{1/3} \cdot 300 \cdot 460 = 69914 \text{ N} = 699.14 \text{ kN}$$

► **Contribución de la armadura transversal**

La diferencia debe ser absorbida por los estribos:

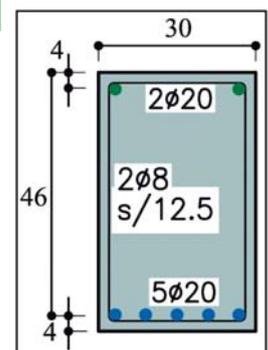
$$V_{su} = V_d - V_{cu} = 200 - 699.14 = 130.08 \text{ kN}$$

**2φ8** (un cerco de dos ramas)  $A_s = 1 \text{ cm}^2$  ¿s?

$$f_{y90,d} \leq 400 \text{ N/mm}^2 < 500 / 1.15 = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{su} = \frac{0.9 \cdot d}{s} \cdot A_{90} \cdot f_{y90,d} \rightarrow 130.08 = \frac{0.9 \cdot 460}{s} \cdot 100 \cdot 0.4 \rightarrow s \leq 127 \text{ mm}$$

2φ8 separados 125 mm < 127 mm, es decir, 8 ud/m



★ **Separación armadura longitudinal**

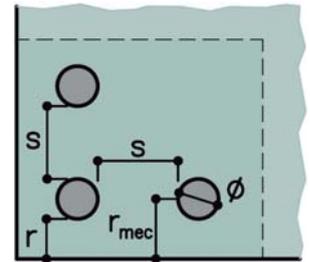
▶ **DISTANCIA LIBRE "s" de armaduras:**

- ❶ Dos centímetros

No menor que: ❷ El diámetro de la barra más gruesa

- ❸ 1.25 veces el tamaño máximo de árido

No mayor que:  $s \leq 30 \text{ cm}$  ;  $s \leq 3 \cdot \text{espesor bruto}$



★ **Recubrimiento:**

▶ **RECUBRIMIENTO "r" (libre):**

Distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluso estribos) y la exterior de hormigón

▶ **RECUBRIMIENTO MECÁNICO "r<sub>mec</sub>":**

Distancia entre el c.g. de la armadura y la superficie exterior de hormigón

▶ **RECUBRIMIENTO NOMINAL "r<sub>nom</sub>":**

$$r_{\text{nom}} = r_{\text{min}} + \Delta r$$

r<sub>min</sub> : Recubrimiento mínimo, el que debe verificarse en cualquier punto

Δr: Margen del recubrimiento:

- ▶ 0 mm elementos prefabricados, control intenso
- ▶ 5 mm elementos *in situ* con control intenso
- ▶ 10 mm resto de los casos

★ **ARMADURAS PRINCIPALES:**

- ▶ El diámetro de la barra
- ▶ 0.80 TM (tamaño máximo de árido)
- ▶ 1.25·TM si impide el paso del hormigón

★ **BARRAS DOBLADAS:** no inferior a 2 diámetros.

★ **r > 50 mm.** debe disponerse una malla de reparto o armadura de piel.

★ **Piezas hormigonadas contra el terreno:** mín. 70 mm (salvo con hormigón de limpieza)

★ **Mayor recubrimiento:**

- ▶ Más protección corrosión y fuego (función de r<sup>2</sup>)
- ▶ Más sensible a la fisuración
- ▶ Menos "d" en vigas, menos resistencia a flexión

La solución adecuada es una solución de compromiso

★ **SEPARADORES:**

- ▶ Calzos de apoyo de las armaduras
- ▶ Garantizan el recubrimiento en obra
- ▶ En vigas separación máxima 100 cm
- ▶ No de madera o derrubios de obra



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA I I : DISPOSICION DE ARMADURA

★ Para cualquier tipo de armaduras (incluso estribos):

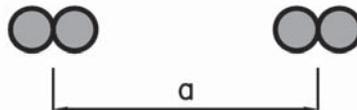
Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	Vida útil de proyecto (t <sub>g</sub> ), (años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
IIa	CEM I	$25 \leq f_{ck} \leq 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Otros tipos de cemento o si se emplean de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} \leq 40$	20	30
IIb	CEM I	$f_{ck} \geq 40$	15	25
		$25 \leq f_{ck} \leq 40$	20	30
	Otros tipos de cemento o si se emplean de adiciones al hormigón	$f_{ck} \geq 40$	15	25
		$25 \leq f_{ck} \leq 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

- ▶ VIDA UTIL 50 años: Edificios de viviendas y oficinas, estructuras de ingeniería civil de repercusión económica baja o media
- ▶ VIDA UTIL 100 años: Puentes y estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta
- ▶ MAYOR recubrimiento: más vida útil, ambiente más agresivo, menor resistencia a compresión, cementos distintos de CEM I (Ambiente II)

REF. 3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA I I : DISPOSICION DE ARMADURA

- ★ Prolongación de armaduras cuando por condiciones de manipulación, transporte y puesta en obra, su longitud se encuentra limitada
- ★ Puede realizarse:
  - ▶ Por solapo, disponiendo juntas las armaduras
  - ▶ Por soldadura
  - ▶ Por manguitos roscados



★ EMPALMES POR SOLAPO:

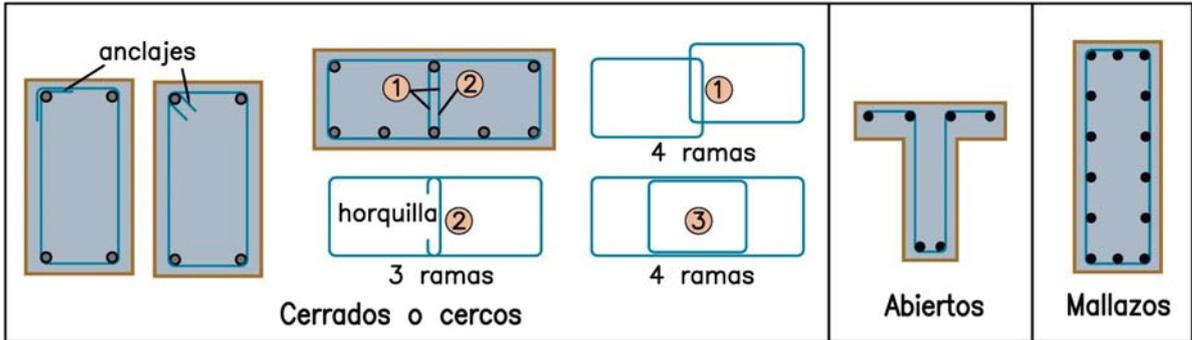
Se colocan las barras unas al lado de otras, con separación máxima de  $4\phi$

★ LONGITUD de solapo: Es un factor de la longitud neta de anclaje

Distancia entre los empalmes más próximos "a"	% de barras solapadas trabajando a tracción, con relación a la sección total de acero: $L_{solape} = \alpha \cdot L_{b,neto}$					Barras solapadas a compresión en cualquier porcentaje
	20	25	33	50	>50	
$a \leq 10 \phi$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	1.0
$a > 10 \phi$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.0

REF. 4

- \* Distribución usual: uniforme a lo largo de la viga
- \* Más conveniente diámetro más fino y menor separación
- \* Tipos de estribos (cercos = cerrados):



- \* Deben rodear las armaduras traccionadas, sin interrumpirse
- \* Deben anclarse bien en la zona comprimida:
  - Centro del vano: arriba
  - Próximo al pilar: abajo
- \* En los empalmes por solape, ayudan a transmitir el esfuerzo de unas barras a otras



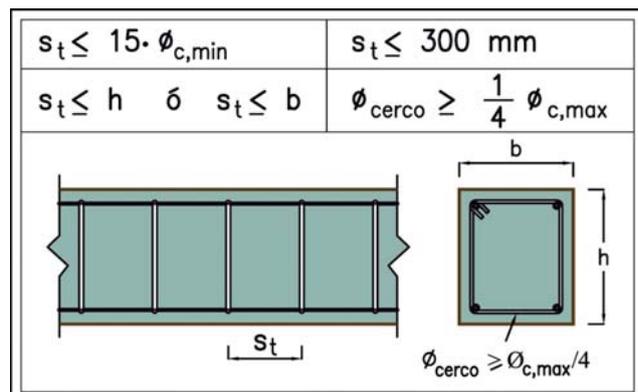
- \* Para asegurar un adecuado confinamiento del hormigón sometido a compresión oblicua, deberá cumplirse ( $V_{u1} = 0.30 \cdot b_0 \cdot d \cdot f_{cd}$ ):

$V_d \leq \frac{1}{5} \cdot V_{u1}$	$s_t \leq 0.75 \cdot d$	$s_t \leq 600 \text{ mm}$
$\frac{1}{5} \cdot V_{u1} < V_d \leq \frac{2}{3} \cdot V_{u1}$	$s_t \leq 0.60 \cdot d$	$s_t \leq 450 \text{ mm}$
$V_d > \frac{2}{3} \cdot V_{u1}$	$s_t \leq 0.30 \cdot d$	$s_t \leq 300 \text{ mm}$

- \* Para evitar el pandeo de la armadura comprimida (si existe), la separación y el diámetro de los estribos debe ser ( $\phi_c$ : Diámetro barra comprimida):

El cuadro equivale a:

- $\phi 12$   $s_t \leq 18 \text{ cm}$
- $\phi 16$   $s_t \leq 24 \text{ cm}$
- $\phi 20, \phi 25$   $s_t \leq 30 \text{ cm}$
- $\phi_{c,max} = 25 \rightarrow \phi_{cerco} \geq 8 \text{ mm}$



★ **Armadura longitudinal en flexión simple o compuesta**

Para evitar la rotura frágil, la armadura debe ser capaz de absorber un flector superior al resistido por el hormigón traccionado antes de la fisuración:

$$A_s \cdot f_{yd} \geq 0.04 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$$

★ **Armadura longitudinal**

Para el control de la fisuración debida a la temperatura y retracción, se establecen unas cuantías geométricas mínimas,  $A_s/A_c$  en tanto por mil ( $A_c = b \cdot h$ ):

Tipo de elemento estructural	Tipo de acero $f_y$	
	400 N/mm <sup>2</sup>	500 N/mm <sup>2</sup>
Pilares	4.0	4.0
Losas	2.0	1.8
Vigas *	3.3	2.8
Muros	Armadura horizontal	4.0
	Armadura vertical	1.2

\* Cuantía geométrica mínima de la cara a tracción  
Se recomienda el 30% en la cara opuesta

Ejemplo: Pilar 35x35:  $A_{s,min} = 0.004 \cdot 35^2 = 4.9 \text{ cm}^2$ ;  $6\phi 12 \rightarrow 6 \cdot 1.13 \text{ cm}^2 = 6.78 \text{ cm}^2$

★ **Armadura transversal**

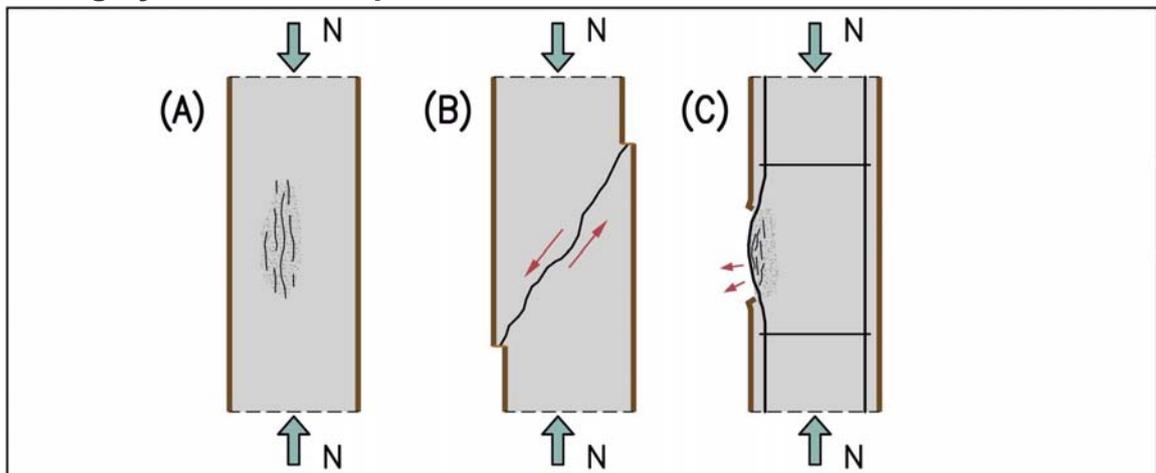
Para que las armaduras transversales puedan tenerse en cuenta, su cuantía mecánica debe, sobre una longitud "t" de la viga, ser mayor que:

$$A_{90} \cdot f_{y90,d} \geq 0.04 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot b_0 \cdot t$$

HA-25,  $b = 0.5 \text{ m}$ ,  $t = 0.15 \text{ m}$ ,  $3\phi 6$ , B500S:  $33.9 \text{ kN} \geq 0.04 \cdot 25^{2/3} \cdot 500 \cdot 150 = 25.6 \text{ kN}$

★ Las formas de agotamiento pueden ser:

- (A) Aparición de fisuras de ancho muy pequeño paralelas al eje de la pieza
- (B) Deslizamiento del hormigón a 45° por tensiones tangenciales máximas (raro en piezas con estribos)
- (C) Pandeo de la armadura longitudinal con pérdida de capacidad de carga y rotura a compresión



★ Formas de soportar los esfuerzos:

- ① El hormigón contribuye según su resistencia a compresión simple:

$$U_c = \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h$$

En este curso se adopta  $\alpha_c = 0.85$

- ② Armadura longitudinal ayuda a soportar compresiones o bien las tracciones en flexión compuesta

Es obligatorio disponer armadura aunque el hormigón sólo sea capaz de soportar los esfuerzos

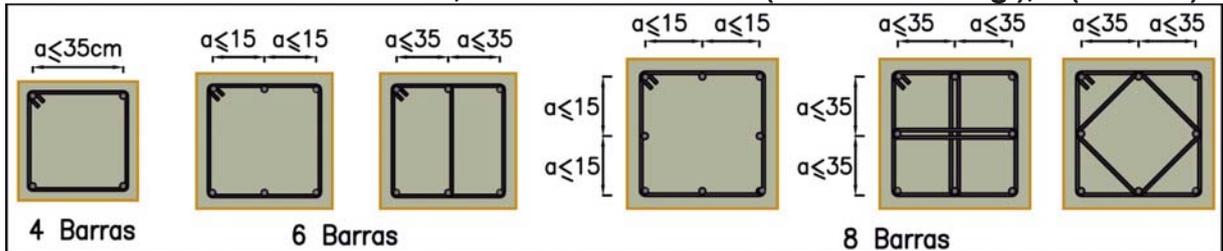
- ③ Cercos o estribos: colaboran con la armadura longitudinal

Si su separación no excesiva pueden evitar:

- ▶ Rotura por deslizamiento oblicuo del hormigón
- ▶ Pandeo de la armadura longitudinal comprimida
- ▶ Absorción del esfuerzo cortante (sismo)
- ▶ Efecto de zunchado del núcleo de hormigón

En general los esfuerzos cortantes son pequeños en pilares (salvo sismo)

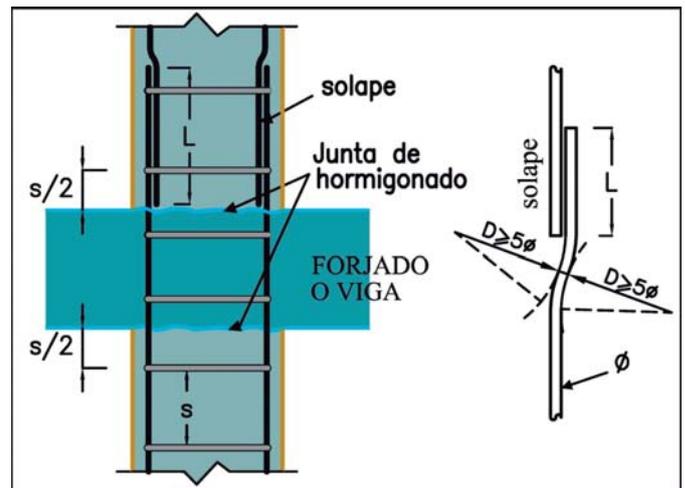
★ Distribución usual simétrica, mínimo 4 redondos (sección rectang.), 6 (circular)



★ Diámetro de la barra comprimida más delgada no será inferior a 12 mm.

★ Dimensiones del soporte mayor a 25 cm.

★ Solapes: Compresión  $L \geq L_{b,l}$   
Tracción:  $L \geq 2 \cdot L_{b,l}$



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 11 : DISPOSICION DE ARMADURA

★ La armadura longitudinal a disponer estará comprendida entre:

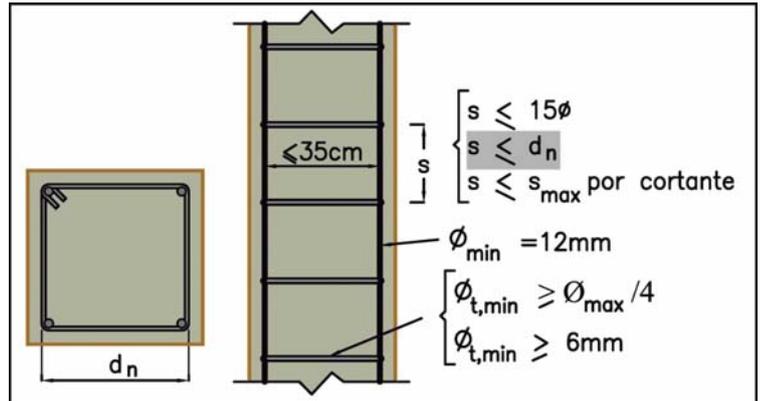
Armado simétrico:  $A_s \cdot f_{yd} \geq 0.1 \cdot N_d$  ;  $A_s \cdot f_{yd} \leq A_c \cdot f_{cd}$

★ Área mínima de acero será:  $A_s/A_c > 4$  por mil

★ Armadura transversal (separación máxima entre estribos):

- ▶ Evitar el deslizamiento del hormigón  $s \leq d_n$   
( $d_n$ : menor dimensión del núcleo de hormigón)
- ▶ Evitar el pandeo de barras longitudinales comprimidas:  $s < 15 \cdot \phi_{min}$  ;  $s < 300$  mm
- ▶  $\phi_{cercos} > 1/4 \cdot \phi_{c,max}$

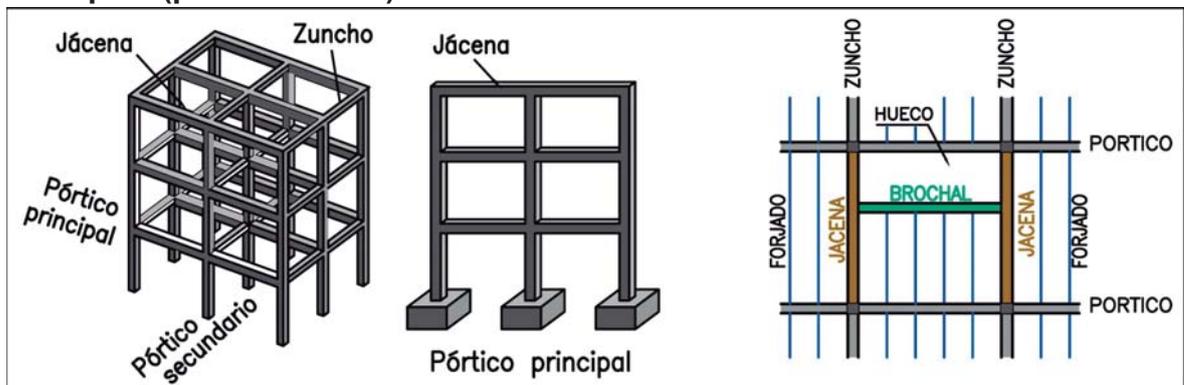
▶ Deben colocarse a todo lo largo del pilar incluso en nudos  
Bien atados a la armadura longitudinal  
Separación constante  
Si existen barras de atado que crucen el núcleo, evitar que ocurra cribado durante el vertido del hormigón



REF. 11

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 12: DIMENSIONADO DE VIGAS

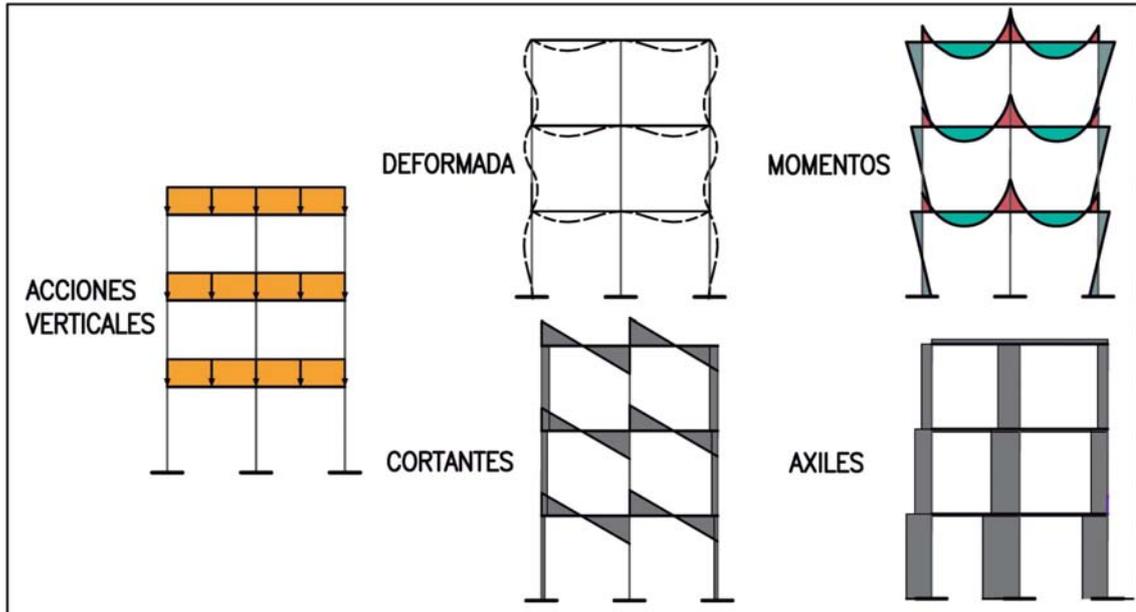
- ★ En edificación, la estructura suele constituirse con entramados reticulares (recuadros) en varios vanos y alturas
- ★ LOS NUDOS son rígidos. LOS APOYOS son empotramientos, pocas veces simples (prefabricados)



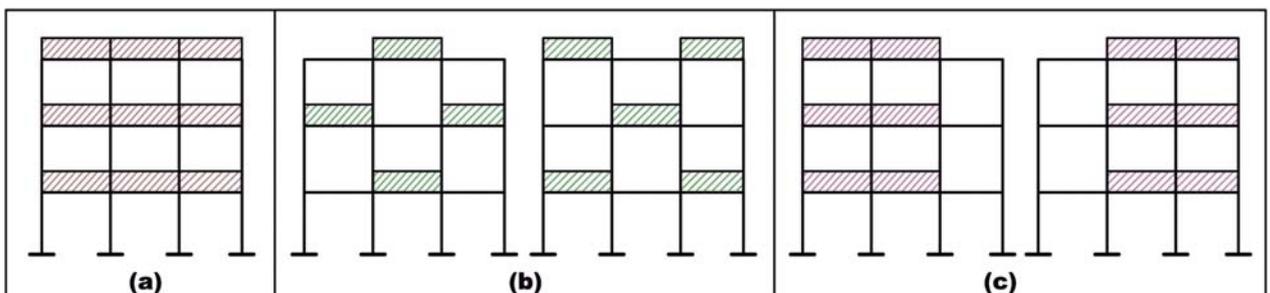
- ★ Es habitual que los forjados sean unidireccionales, apoyando las viguetas en las jácenas
- ★ Estas estructuras se comportan como pórticos planos, unidos transversalmente mediante zunchos de atado
- ★ Brochal: viga que conforma un hueco en un forjado, apoyándose en otras. Cambia la dirección del reparto de cargas. Los zunchos afectados se convierten en jácenas de carga

REF. 1

- ★ Se consultan en la Norma CTE SE-AE, NCSE-02, EHE-08, o según uso estimado
- ★ Sobrecarga de nieve (N): en general es de menor importancia
- ★ Sobrecarga de uso (S): Si  $G \gg S$ , no es preciso considerar alternancia de cargas
- ★ Pórtico ortogonal y cargas verticales, la deformada y esfuerzos son:

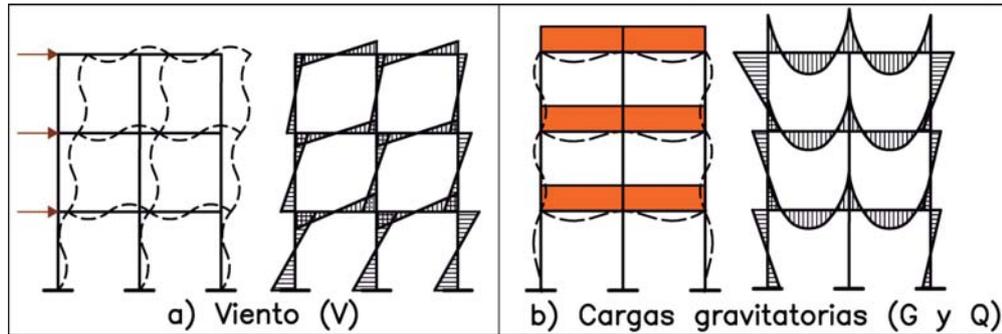


- ★ En general, debería hacerse alternancia de cargas variables
- ★ G (todas iguales, sin alternar): o desfavorables  $\times 1.35$  o bien favorables  $\times 0.8$
- ★ S (en cada vano): desfavorables  $\times 1.5$  ; favorables  $\times 0$  (sin sobrecarga)
- ★ Mayor efecto con luces distintas o si  $\uparrow S/G$
- ★ Las siguientes combinaciones de S darán flectores muy próximos a los máximos obtenidos al plantear todas las posibles combinaciones:



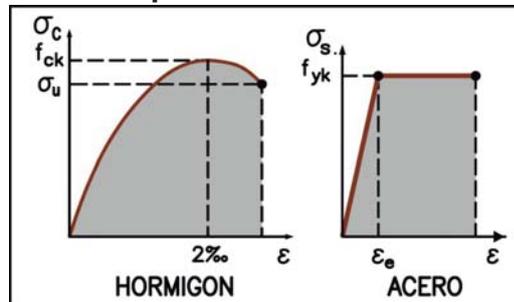
- (a) No suele dar los máximos flectores pero están muy cercanos
- (b) Máximo flector positivo en los vanos cargados
- (c) Máximo flector negativo en el apoyo con vanos adyacentes cargados
- ★ Los programas de cálculo estructural pueden generar de forma automática miles de combinaciones con alternancia de cargas

- \* Suele introducirse en el cálculo como cargas puntuales en los nudos laterales a barlovento de los pórticos  
Estructura asimétrica: es necesario considerar ambas direcciones del viento
- \* Respecto a los flectores:
  - ▶ Suelen ser de menor importancia que los debidos a las cargas verticales
  - ▶ A barlovento disminuyen los originados por cargas verticales
  - ▶ A sotavento se incrementan los momentos
  - ▶ Nudos centrales: aumenta el flector en el dintel a la izquierda del nudo y en pilares



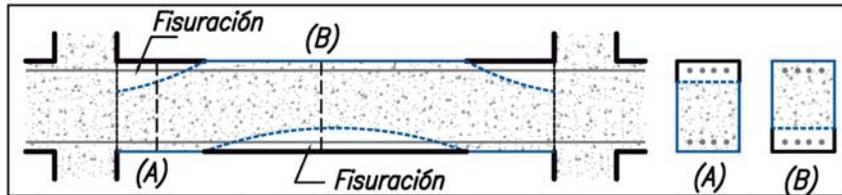
- \* En los pórticos secundarios (en la dirección del forjado), las cargas verticales son pequeñas. La rigidez a cargas laterales se confía al entramado soporte-zuncho  
En estructuras simples de pocas plantas este cálculo se omite disponiendo de un armado uniforme (por ejemplo  $3\phi 16$  en cada cara) a todos los zunchos

- \* Secciones: cálculo en rotura (no lineal ni elástico)
- \* Estructura: cálculo de esfuerzos habitual con hipótesis de elasticidad lineal  
No se cumple porque:
  - ① Comportamiento no lineal ni elástico de los **materiales**
    - Hormigón: E variable en ciertas condiciones y se modifica si estas cambian
    - Acero: No lineal al superar la tensión de fluencia



- ①  $E = Cte$  en vigas y pilares adoptándose el módulo secante  
Al ser fijo, los esfuerzos y reacciones son independientes de su valor  
Para considerar la fluencia puede reducirse entre la mitad (ambiente húmedo) o 2.5 veces (seco), en edificación y a los  $j = 10.000$  días ( $\approx 30$  años)  
Ejemplo: HA-25 ;  $E_c = 27000 \text{ N/mm}^2$  ;  $E'_c = [11200 \text{ N/mm}^2 \text{ (70\% H.R.)}]$

- 2 **Fisuración** en las zonas traccionadas. Alteración de la inercia de la sección monolítica (rigidez). Varía a lo largo de la viga y del grado de sollicitación. Tampoco se ha tenido en cuenta la influencia de la armadura en la inercia



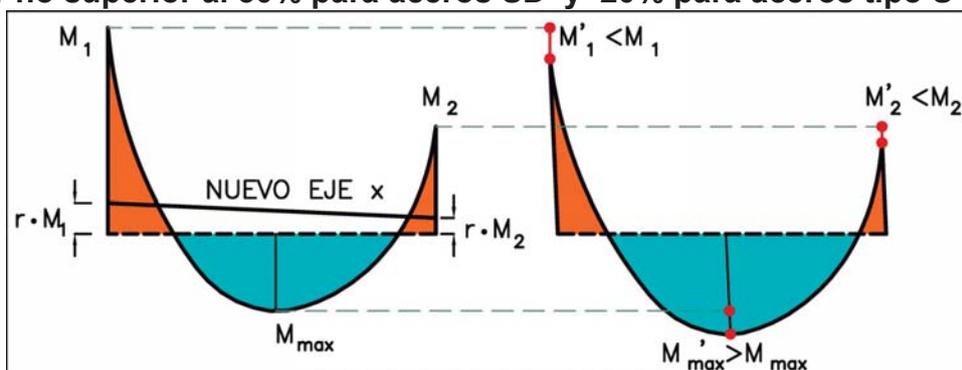
- 2 Inercia fija en vigas de sección constante referida a la sección **bruta** (sin tener en cuenta el acero). Inercia de una sección rectangular:  $I = b \cdot h^3 / 12$   
En cálculos más precisos (fisuración, flechas, pretensado), se considera la sección **homogeneizada**: se transforma el acero en hormigón multiplicando el área del acero por la relación entre los valores de E de ambos materiales ( $n = E_s / E_c$ ). Inercia sección **fisurada** → cálculo de flechas
- 3 La resistencia de la viga depende más del comportamiento en su **conjunto**, que de los esfuerzos en cada sección (Ver Tema del cortante)
- 3 Flector y cortante independientes en el cálculo si se aplican cambios en el diagrama de momentos (**decalaje** o traslación del diagrama de momentos):
- ▶ Del flector se obtiene la armadura longitudinal
  - ▶ Del cortante la armadura transversal

- \* No es habitual realizar un **ANÁLISIS NO LINEAL**
- \* Simplificación, realizar un **ANÁLISIS LINEAL** y redistribuir los momentos:  
**SECCIONES MUY SOLICITADAS → PLASTIFICACIÓN → TRASLADO DEL ESFUERZO A SECCIONES MENOS SOLICITADAS**
- \* Según la EHE-08, se admite una redistribución de los flectores para vigas de valor ( $x$ : profundidad del eje neutro):

$$r = 56 - 125 \cdot \frac{x}{d}$$

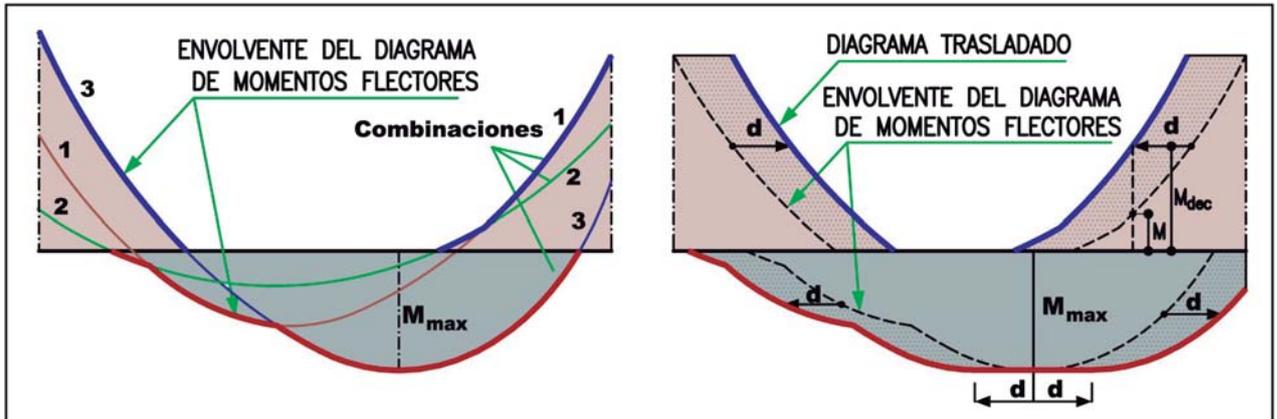
Si  $x = 0.45 \cdot d$  ;  $r = 0$   
Si  $x = 0.328 \cdot d$  ;  $r = 15$   
Si  $x = 0.259 \cdot d$  ;  $r = 24$

- $r$ : Porcentaje máximo de redistribución del momento de la sección crítica de valor no superior al 30% para aceros SD y 20% para aceros tipo S

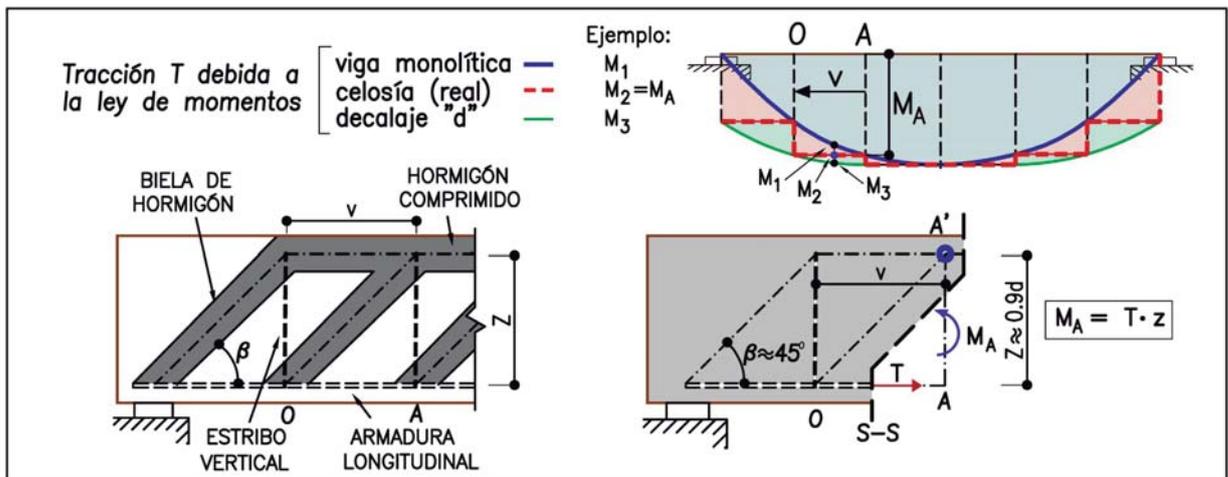


★ **Obtención de la armadura longitudinal:**

- ▶ Representación del diagrama de flectores de cada combinación
  - ▶ **ENVOLVENTE** del diagrama de momentos: curvas formadas por tramos de la combinación que adopte los máximos positivos y los máximos negativos
- Una sección deberá soportar o bien dos momentos de signo contrario o un único momento, por lo que será necesario disponer armadura en ambas caras o sólo en una de ellas (verificando cuantías mínimas)
- ▶ **DECALAJE** o traslación del diagrama de flectores (Analogía de celosía):

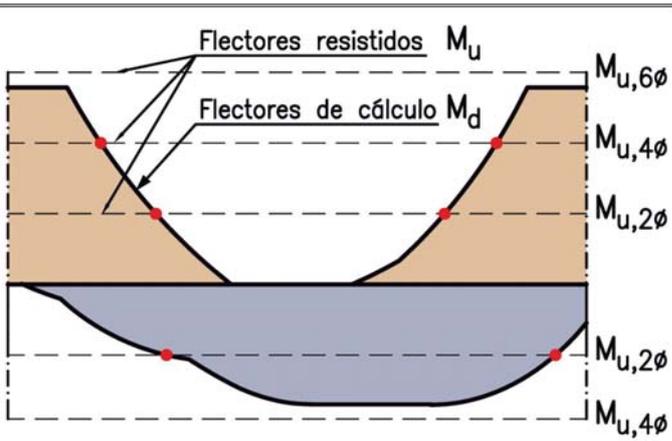


★ **DECALAJE v:** Traslación de la ley de  $M(x)$  debida a la *analogía de celosía*



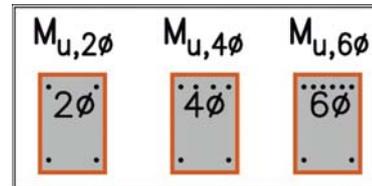
- ▶ En el tramo "**OA = v**", la tracción  $T$  en la armadura es constante
- ▶  $T = M_A/z$  se calcula con el flector en  $AA'$ ,  $M_A$ , fijo en todo el tramo  $[O, A]_{S-S} = v$
- ▶ El decalaje  $v$  depende de la inclinación de las bielas de hormigón  $\beta$ , de "z" y de la relación  $V_{su}/V_d$  (porcentaje de cortante que soportan los estribos)
- ▶ Para  $\beta \approx 45^\circ$ ,  $z \approx 0.9 \cdot d$ ,  $V_{su}/V_d = 1$ , se adopta como decalaje el canto útil "d", valor que está del lado de la seguridad

- \* Con el flector máximo, se determinan las barras necesarias de armadura. Casos:
  - ▶ Poca armadura o cuantía mínima (Dominio 2). → Disminuir sección
  - ▶ Sea necesaria armadura a compresión
  - ▶ Se recomienda que el área de acero no exceda del 4% del hormigón
- \* Cortante máximo elevado: fallo por compresión oblicua del alma (aumentar sección):  
 $V_d$  (en el borde del apoyo)  $\leq V_{u1} = 0.30 \cdot b_0 \cdot d \cdot f_{cd}$
- \* Distribución armado:
  - ▶ Armado uniforme: vigas de menor importancia  
Ver figura: 6 $\phi$  arriba, 4 $\phi$  abajo
  - ▶ Armado variable: cada proyectista puede tener su método



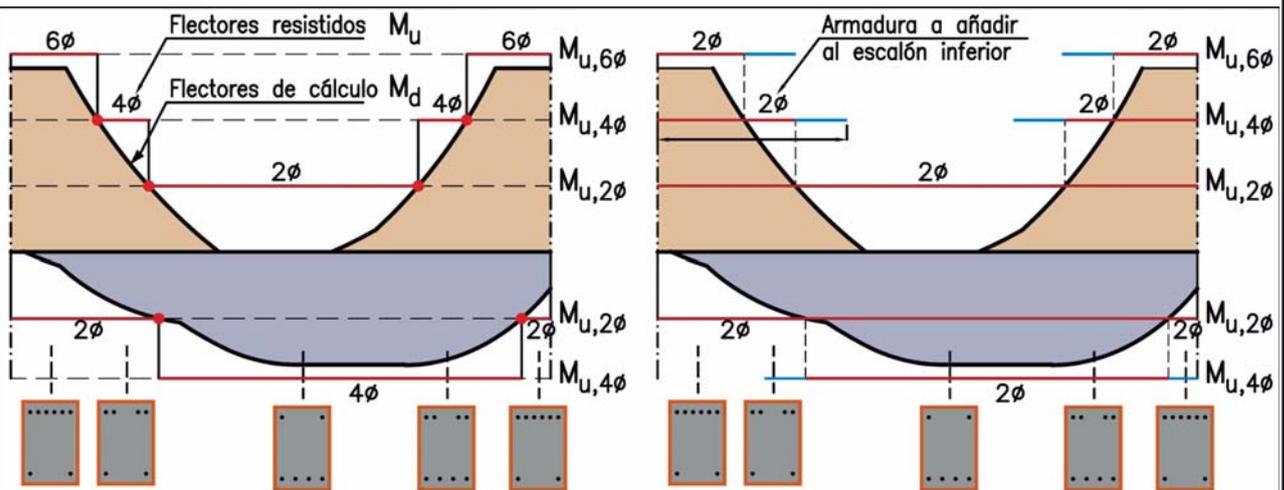
**ARMADO VARIABLE:**

- ▶ Se determinan los momentos resistentes  $M_u$  con cantidades escalonadas de armadura (cada 2 $\phi$ , 3 $\phi$ , variable):

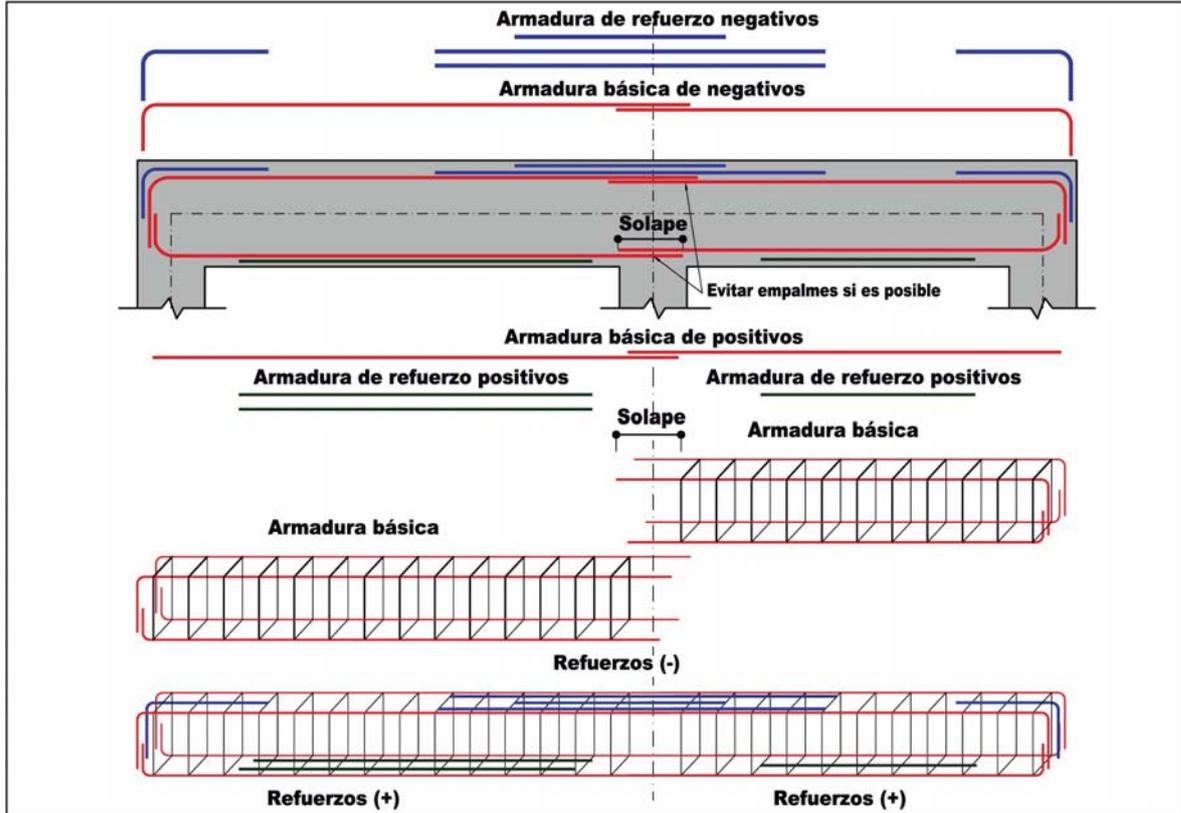


$M_d \leq M_u$

- ▶ Se dibujan los  $M_{u,n\phi}$  (-----)
- ▶ Se hallan las intersecciones con  $M_d$  ●

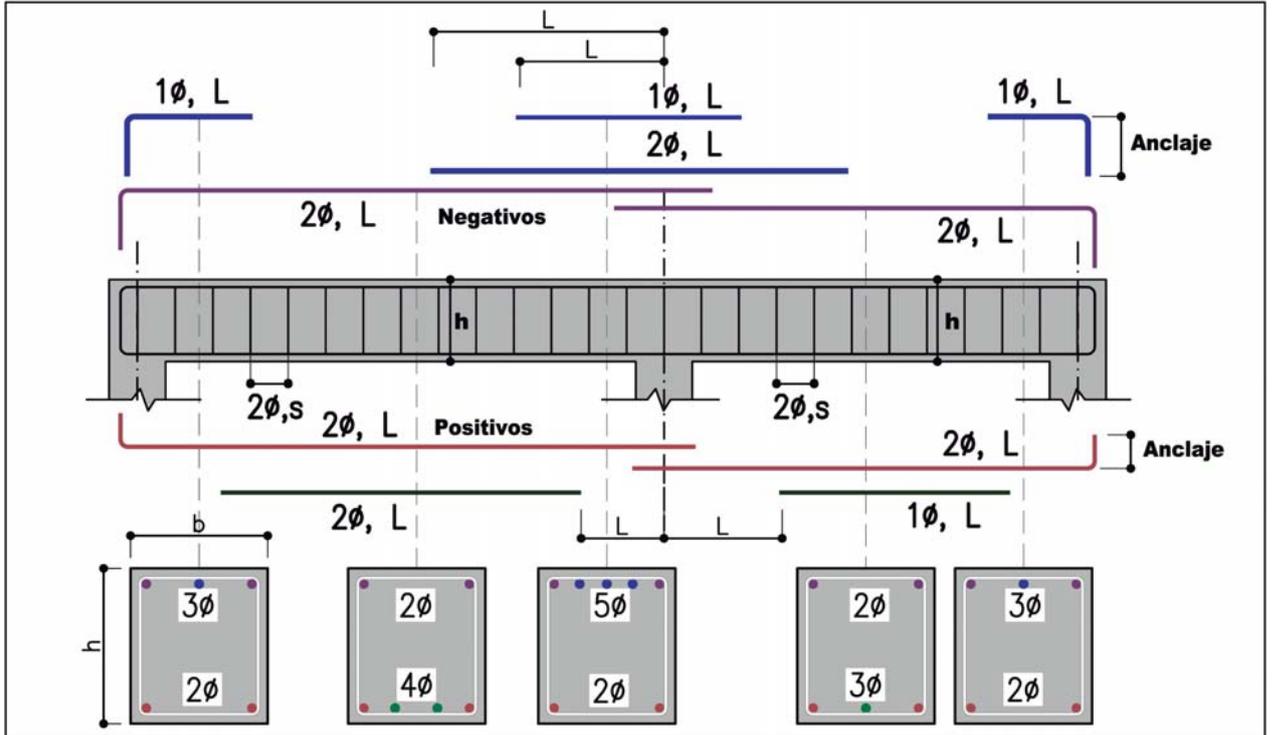


- ▶ El diagrama escalonado  $M_u$  debe envolver al debido a las cargas exteriores  $M_d$
- ▶ Se determinan las longitudes en que es necesario cada tipo de armado (—)
- ▶ Se representan abajo secciones con el armado de cada tramo
- ▶ Se añade la longitud de anclaje (—). En los extremos de la viga:
  - ⊗ Si es final es necesario un anclaje en patilla
  - ⊗ Si es intermedio y continuo, la armadura se prolonga en la viga colindante
- ▶ Se dibuja el despiece de armaduras: plano final para el Constructor  
Se indica N° de armaduras, posición, longitud (distribución longitudinal y sección)



\* **DISTRIBUCIÓN:**

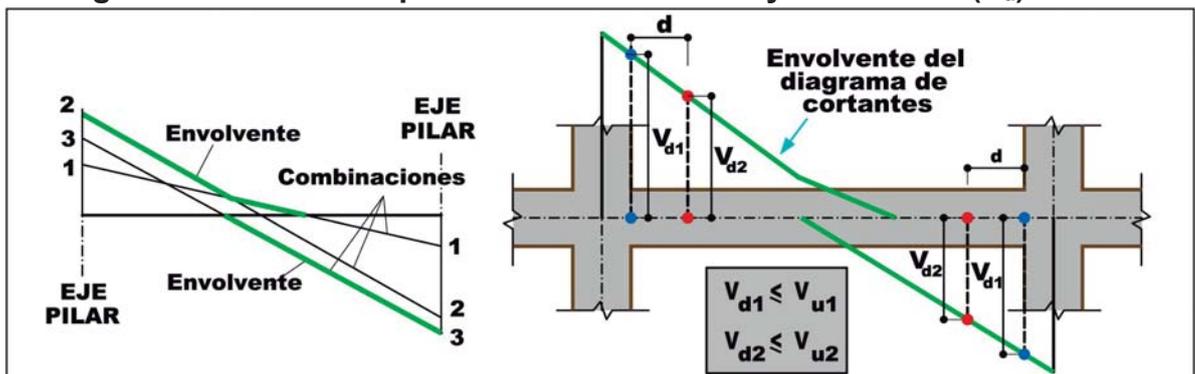
- ▶ **Por esfuerzo:**
  - **Negativos:** en la cara superior, más necesaria en apoyos
  - **Positivos:** en la cara inferior, en el centro del vano
- ▶ **Empalmes:** de ser necesario se disponen:
  - Armadura superior en centro del vano
  - Armadura inferior en apoyos
- ▶ **Hacia los apoyos continuar al menos:**
  - 1/3 de la armadura a flector positivo a apoyos extremos
  - 1/4 de la armadura a flector positivo a apoyos intermedios
- ▶ **Por montaje:**
  - **Armado básico:** ensamblado en taller. Se solapa en apoyos  
Cálculo: debe respetar cuantías mínimas
  - **Refuerzo:** armado escalonado en apoyos y centro del vano
- ▶ **Armadura en vanos y apoyos intermedios:** anclaje en prolongación recta  
**Armadura en apoyos extremos:** se prolonga hasta el EJE del APOYO, a partir de ahí se añade el anclaje. Se ancla en PATILLA (reducción del 30% respecto al anclaje recto)  
 Si el pilar se encuentra todo comprimido (Dominio 5), el anclaje puede contarse desde el borde del apoyo (se gana  $h_{pilar}/2$  de longitud de anclaje)



- ▶ Se indica la longitud de cada armadura, y su posición respecto a unos ejes
- ▶ Esta labor se facilita con el uso de programas informáticos de cálculo y armado

\* **Determinación de estribos a separación constante:**

- ▶ Diagrama de cortantes para cada combinación y envolvente ( $V_d$ )



- ▶ **Cortante** (se adopta el mayor entre ambos extremos):

- 1)  $V_{d1}$  (*biela comprimida*): **borde** del apoyo (arranca en el borde no en el eje)
  - \* Comprobación:  $V_{d1} \leq V_{u1} = 0.30 \cdot b_0 \cdot d \cdot f_{cd}$
- 2)  $V_{d2}$  (*montante traccionado*): a una distancia **"d"** del borde del apoyo (1º estribo desde el eje que trabaja según la analogía de celosía o efecto arco)
  - \* Comprobación:  $V_{d2} \leq V_{u2} = V_{su} + V_{cu}$

→ Contribución del hormigón:  $V_{cu} = 0.10 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_0 \cdot d$

→ Contribución del acero:  $V_{su} = V_d - V_{cu} \rightarrow V_{su} = \frac{0.9 \cdot d}{s} \cdot A_{90} \cdot f_{y90,d}$

★ **CÁLCULO EN AGOTAMIENTO**

**ARMADURA LONGITUDINAL**

- ➔ En estado límite último, máximo acortamiento de  $\epsilon_c = 0.002$
- ➔ Se aconseja bajar  $f_{ck}$  al valor  $0.9 \cdot f_{ck}$  por ser variable en altura:  
en la parte inferior  $\uparrow f_{ck}$  al estar más compacto por el peso de hormigón encima durante el hormigonado.  $\downarrow f_{ck}$ , parte superior por refluir el mortero más líquido
- ➔ Por los fenómenos de cansancio y  $f_{ck}$  variable en altura: en los apuntes  $\alpha_c = 0.85$   
En cambio, *J. Montoya, Cype, etc.*, consideran  $\alpha_c = 1$
- ➔ Generalmente con armadura simétrica (ábacos de interacción)

**EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL**

$e_{acc} = \text{Mayor [2 cm ; } h/20]$  aplicado sólo a la dirección más desfavorable  
 $M = N_d \cdot e_e = \text{Mayor [} e_{acc} ; e_0]$   $e_0$ : Debido a las acciones ( $M_d/N_d$ )

**ARMADURA TRANSVERSAL**

- ➔ Dimensionado con máximo cortante. Importante en zonas sísmicas
- ➔ Separación de estribos constante
- ➔ Aumenta  $f_{ck}$  por el efecto de zunchado

★ **CONCEPTOS GENERALES**

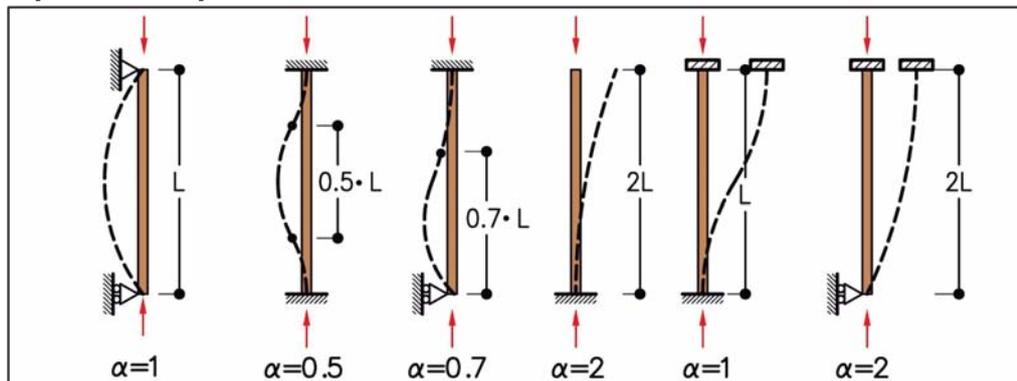
- ➔ Se basa en la teoría de Euler. Para una pieza ideal biarticulada:
- ➔ Piezas de grandes dimensiones transversales: menor importancia que en acero
- ➔ En muchos tipos de piezas no se considera (pérdida resistencia < 10%)
- ➔ Afecta al pandeo: fluencia, retracción, heterogeneidad, fabricación y puesta en obra
- ➔ Modo operativo según EHE-08:

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_{soporte}}{L^2}$$

Cálculo de una "e" que tenga en cuenta el pandeo, siendo  $M = N_d \cdot e$

★ **LONGITUD DE PANDEO**

- ➔ Longitud de la pieza biarticulada equivalente:  $L_0 = \alpha \cdot L$ , siendo  $\alpha$  el factor de pandeo
- ➔ Para piezas simples sus valores son los habituales:



★ **Cálculo de la longitud de pandeo**

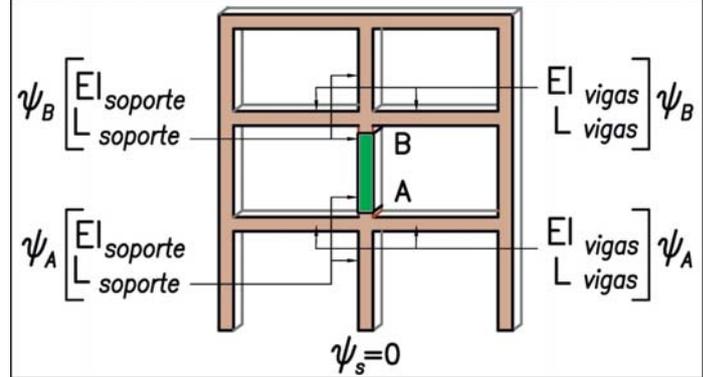
1 **Cálculo de la relación de rigidez  $\psi$**  de todas las barras que se unen en cada extremo (A ó B) de un pilar

2 **Cálculo del coeficiente  $\alpha$**  de pandeo:

**TRASLACIONAL:** estructura en la que los desplazamientos de los nudos afectan a los esfuerzos. Nudo extremo empotrado en la zapata, se toma  $\psi_s = 0$

Se aplican las expresiones:

$$\psi_A = \frac{\sum (EI/L)_{\text{soportes}}}{\sum (EI/L)_{\text{vigas}}} ; \psi_B = \frac{\sum (EI/L)_{\text{soportes}}}{\sum (EI/L)_{\text{vigas}}}$$



Estructura intraslacional $0.5 \leq \alpha \leq 1$	Estructura traslacional $1 < \alpha \leq \infty$
$\alpha = \frac{0.64 + 1.4 \cdot (\psi_A + \psi_B) + 3 \cdot \psi_A \cdot \psi_B}{1.28 + 2 \cdot (\psi_A + \psi_B) + 3 \cdot \psi_A \cdot \psi_B}$	$\alpha = \sqrt{\frac{7.5 + 4 \cdot (\psi_A + \psi_B) + 1.6 \cdot \psi_A \cdot \psi_B}{7.5 + \psi_A + \psi_B}}$

★ El pandeo se define por el **eje perpendicular** al plano de pandeo

▶ **z**: Pandeo en el plano del pórtico (Figura: dimensión h)

▶ **y**: Pandeo en el plano lateral (Figura: dimensión b)

★ **Definición de ESBELTEZ:**

PLANO

PÓRTICO

LATERAL

▶ Esbeltez **GEOMETRICA**

$$\lambda_g = \frac{l_0}{h}$$

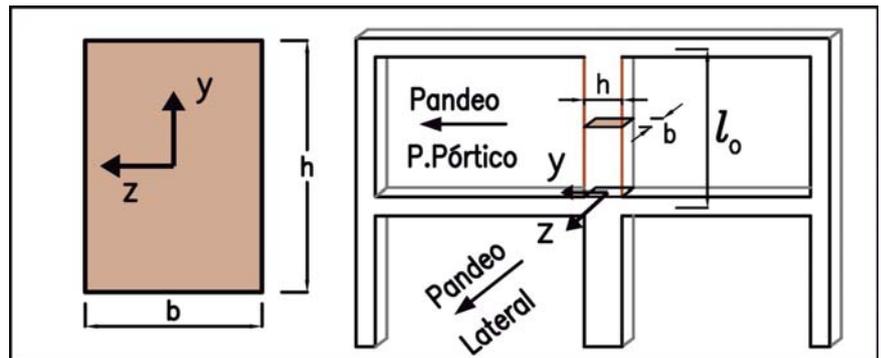
$$\lambda_g = \frac{l_0}{b}$$

▶ Esbeltez **MECANICA**

$$\lambda_{mec} = \frac{l_0}{i_z} ; i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$\lambda_{mec} = \frac{l_0}{i_y} ; i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\lambda_g = \lambda_{mec} / \sqrt{12}$$



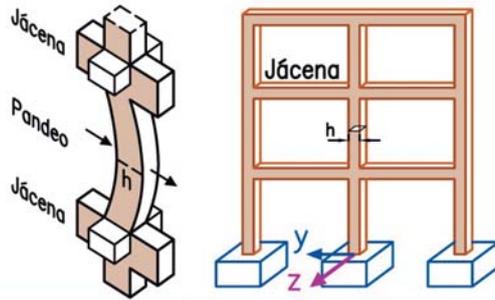
★ **EI PANDEO** ocurrirá en el **EJE PRINCIPAL MÁS débil** (esbeltez  $\lambda$  más ALTA)

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 13: PILARES Y NUDOS

REF. 5

• **PLANO DEL PORTICO**

$$M_z = N_d \cdot e_y \text{ (Mayor } [e_2, e_{acc}, e_{Total}])$$

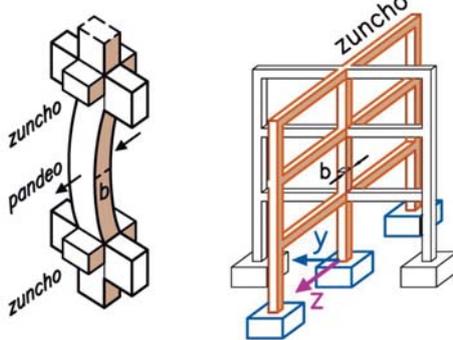


$e_2$ (Acciones) $M_d / N_d$	$e_{acc}$ (Accidental) Mayor [2cm, $h/20$ ]	$e_{Total}$ (pandeo) fórmula
------------------------------------	---	------------------------------------

•  $n\phi$ : Armadura a considerar a flexión  $M_z$

• **PLANO LATERAL**

$$M_y = N_d \cdot e_z \text{ (Mayor } [e_{Total}, e_{acc}])$$



$e_{2, viento lateral}$ (Acciones) $M_d / N_d$	$e_{acc}$ (Accidental) Mayor [2cm, $b/20$ ]	$e_{Total}$ (pandeo) fórmula
--	---	------------------------------------

Nulo si sólo se calcula el pórtico principal

•  $n'\phi$ : Armadura a considerar a flexión  $M_y$

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 13: PILARES Y NUDOS

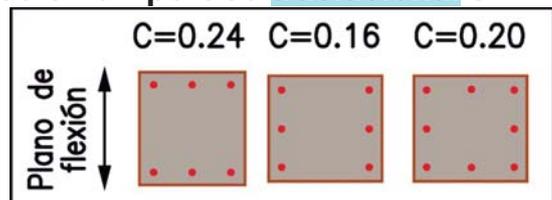
REF. 6

**CASOS SEGÚN EHE-08**

★ **NO** es necesario considerar el pandeo en un pórtico traslacional si:

$$\lambda_{mec} < \lambda_{inf} = 35 \cdot \sqrt{\frac{C}{v}} \cdot \left[ 1 + \frac{0.24}{e_2/h} \right] \leq 100$$

Axil reducido:  $v = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$



- ▶ **Factor C:** 0.24 (simétrica en caras opuestas del plano de flexión)  
0.16 (armadura simétrica en caras laterales)  
0.20 (igual en cuatro caras)

- ▶  $e_2$  : Excentricidad de 1º orden, extremo del soporte con mayor momento considerada como positiva  $e_2 = M_{max,d} / N_d$

- ▶ Es necesario considerar el pandeo si:  $\lambda_{inf} \leq \lambda_{mec} < 100$   
Puede utilizarse el método aproximado de la EHE-08
- ▶ Si:  $100 \leq \lambda_{mec} < 200$  se usan métodos avanzados
- ▶ No se recomienda que :  $\lambda_{mec} > 200$

**SEGÚN EHE-08:**

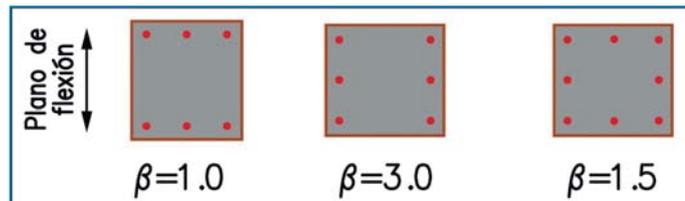
$$\star \lambda_{inf} < \lambda < 100$$

$$e_{Total} = e_e + e_a \quad (\text{no menor que } e_2) ; e_a: \text{excentricidad ficticia}$$

$$e_a = (1 + 0.12 \cdot \beta) \cdot (\varepsilon_y + 0.0035) \cdot \frac{h + 20 \cdot e_e}{h + 10 \cdot e_e} \cdot \frac{l_0^2}{50 \cdot i_c}$$

► Soporte traslacional:  $e_e = e_2 = M_{max,d}/N_d$

►  $\beta$ : Factor de armado:



►  $\varepsilon_y$ : B400S → 0.0017 , B500S → 0.0021

►  $i_c$ : Sección rectangular:  $i_c = h/\sqrt{12}$  (h: dimensión según el plano de pandeo)  
 Pandeo lateral : Cambiar "h" por "b"

★ Se usan otros métodos (programas) que suelen dar resultados menos desfavorables

 $\star$  Empleo del acero B500S:

► DEFORMACION DE ROTURA: Es del orden de  $\varepsilon_c = 0.002$

► La máxima tensión alcanzada por la armadura a una deformación de 0.002 es:

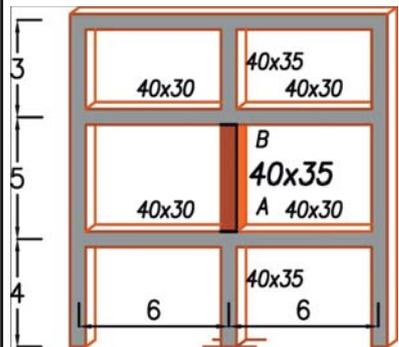
$$\sigma_s = \varepsilon_c \cdot E_s = 0.002 \cdot 2.1 \cdot 10^6 = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

► El acero B500S podrá trabajar sólo hasta esta tensión, pero **no** a la tensión de cálculo  $f_{yd} = 5100 \text{ kg/cm}^2 / 1.15 = 4435 \text{ kg/cm}^2 \geq \sigma_s$

► Tabla de capacidades mecánicas B500 en dominio 5 para  $\sigma_s$ :

$\phi$ (mm)	NUMERO DE BARRAS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0.84	1.68	2.52	3.36	4.20	5.04	5.88	6.72	7.56
6	1.21	2.42	3.62	4.83	6.04	7.25	8.45	9.66	10.87
8	2.15	4.31	6.46	8.62	10.77	12.93	15.08	17.23	19.39
10	3.36	6.72	10.09	13.45	16.81	20.17	23.53	26.89	30.26
12	4.85	9.70	14.55	19.40	24.25	29.10	33.95	38.79	43.64
14	6.60	13.20	19.79	26.39	32.99	39.59	46.18	52.78	59.38
16	8.62	17.23	25.85	34.47	43.08	51.70	60.32	68.93	75.55
20	13.46	26.91	40.37	57.83	67.28	80.74	94.19	107.65	121.11
25	21.03	42.06	63.09	84.12	105.15	126.18	147.21	168.24	189.27
32	34.46	68.91	103.37	137.83	172.29	206.74	241.20	275.66	310.11
40	53.84	107.67	161.51	215.34	269.18	323.01	376.85	430.68	484.52

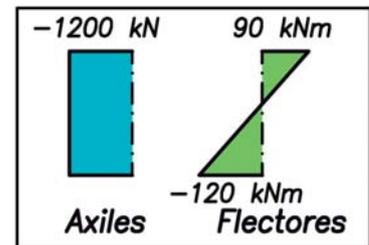
Dimensionar un soporte central de una estructura aporcionada de varias plantas, traslacional:

	Elemento	h x b (cm)	Longitud
	Soporte planta baja (a calcular)	40x35	5 m
	Dinteles 1º planta	40x30	6 m
	Dinteles planta baja	40x30	6 m
	Soporte sótano	40x35	4 m
Soporte 1º planta	40x35	3 m	

- **Materiales y seguridad:**

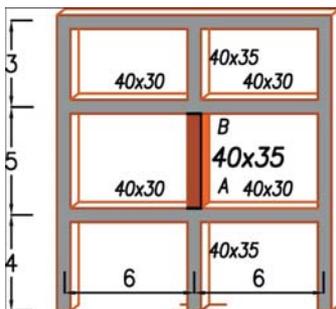
HA-25  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$   $\gamma_c = 1.5$   $f_{cd} = 16.667 \text{ N/mm}^2$   $r_{mec} = 0.05 \text{ m}$   
 B500S  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$   $\gamma_s = 1.15$   $f_{yd} = 434.8 \text{ N/mm}^2$

ESFUERZOS		
Axil de cálculo	Flectores de cálculo	
	En la base	En cabeza
$N_d$	$M_{d2}$	$M_{d1}$
1200 kN	-120 kNm	90 kNm



**Solución:**

a) Cálculo de la longitud de pandeo:  $L_k = \alpha L$



$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{soportes}}}{\sum (EI/L)_{\text{vigas}}} = \frac{\sum (h^3 \cdot b/L)_{\text{soportes}}}{\sum (h^3 \cdot b/L)_{\text{vigas}}}$$

Nudo inferior:  $\psi_A = \frac{[35/500] + [35/400]}{2 \cdot 30/600} = 1.58$

Nudo superior:  $\psi_B = \frac{[35/500] + [35/300]}{2 \cdot 30/600} = 1.87$

$$\alpha = \sqrt{\frac{7.5 + 4 \cdot (\psi_A + \psi_B) + 1.6 \cdot \psi_A \cdot \psi_B}{7.5 + \psi_A + \psi_B}} = \sqrt{\frac{7.5 + 4 \cdot (1.87 + 1.58) + 1.6 \cdot 1.87 \cdot 1.58}{7.5 + 1.87 + 1.58}} = 1.54$$

La longitud de pandeo es:  $L_k = 1.54 \cdot 5 \approx 7.70 \text{ m}$

(igual en ambos planos de pandeo)

b) Excentricidad: c1) Plano de flexión :  $e_2 = \frac{120}{1200} = 0.1 \text{ m}$

c2) Plano lateral :  $e_2 = e_{\text{accidental}} = 0.02 \text{ m}$

c) La esbeltez mecánica vale  $\lambda$ :

Plano pórtico:  $\lambda_{PP} = \sqrt{12 \cdot 770 / 40} = 66.7$  ; Plano lateral:  $\lambda_{PL} = \sqrt{12 \cdot 770 / 35} = 76.2$

d) La esbeltez límite inferior  $\lambda_{inf}$ , es:  $\lambda_{inf,PP} = 35 \cdot \sqrt{\frac{C}{v} \cdot \left[1 + \frac{0.24}{e_2/h}\right]}$

Plano del pórtico (PP):  $\lambda_{inf,PP} = 35 \cdot \sqrt{\frac{0.24}{0.51} \cdot \left[1 + \frac{0.24}{10/40}\right]} = 33.5 \leq 100$

Plano lateral (PL):  $\lambda_{inf,PL} = 35 \cdot \sqrt{\frac{0.16}{0.51} \cdot \left[1 + \frac{0.24}{2/35}\right]} = 44.5 \leq 100$

v Axil adimensional :  $v = N_d / (b \cdot h \cdot f_{cd}) = 1200 \cdot 10^{-3} / (0.4 \cdot 0.35 \cdot (25 / 1.5)) = 0.51$

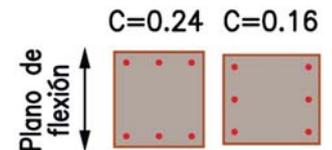
$e_2$  Excentricidad de 1º orden.  $e_{2,PP} = 0.1 \text{ m}$  ;  $e_{2,PL} = 0.02 \text{ m}$

h Canto en el plano de flexión:  $h_{PP} = 0.4 \text{ m}$  ;  $h_{PL} = 0.35 \text{ m}$

C Coeficiente según la *disposición* de las armaduras:

$C_{PP} = 0.24$ : armadura simétrica en el plano de flexión

$C_{PL} = 0.16$ : armadura simétrica en caras laterales



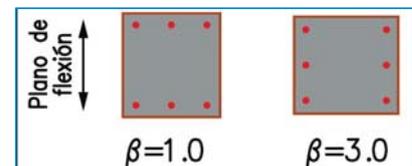
P.P :  $\lambda_{inf,PP} = 33.5 \leq \lambda_{PP} = 66.7 < 100 \rightarrow$  Pandeo

P.L.:  $\lambda_{inf,PL} = 44.5 \leq \lambda_{PL} = 76.2 < 100 \rightarrow$  Pandeo

e1) Plano de la flexión (del pórtico):

$$e_a = (1 + 0.12 \cdot \beta) \cdot (\varepsilon_y + 0.0035) \cdot \frac{h + 20 \cdot e_e}{h + 10 \cdot e_e} \cdot \frac{l_o^2}{50 \cdot i_c}$$

	Plano del pórtico	Plano lateral
$\beta$	1	3
$\varepsilon_y$	B500S $\varepsilon_y = 0.00207$	
h	0.4 m	0.35 m
$e_e$	$e_2 = 0.1 \text{ m}$	$e_{acc} = 0.02 \text{ m}$
$l_o$	7.70 m	
$i_c$	$0.4 / \sqrt{12} \text{ cm}$	$0.35 / \sqrt{12} \text{ cm}$



$$e_a = (1 + 0.12 \cdot 1) \cdot (0.00207 + 0.0035) \cdot \frac{0.4 + 20 \cdot 0.1}{0.4 + 10 \cdot 0.1} \cdot \frac{7.70^2}{50 \cdot 0.4} \cdot \sqrt{12} = 0.1098 \text{ cm}$$

$$e_{TOTAL} = e_a + e_e = 0.1098 + 0.1 = 0.2098 \text{ cm}$$

e2) Plano lateral:

$$e_a = (1 + 0.12 \cdot 3) \cdot (0.00207 + 0.0035) \cdot \frac{0.35 + 20 \cdot 0.02}{0.35 + 10 \cdot 0.02} \cdot \frac{7.70^2}{50 \cdot 0.35} \cdot \sqrt{12} = 0.1212 \text{ cm}$$

$$e_{TOTAL} = e_a + e_e = 0.1212 + 0.02 = 0.1412 \text{ cm}$$

f) Cálculo de la armadura (disposición simétrica):

f1) Plano de la flexión:

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1200 \cdot 10^{-3} \cdot 0.2098}{0.35 \cdot 0.4^2 \cdot (25/1.5)} = 0.270 \quad ; \quad \nu = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1200 \cdot 10^{-3}}{0.35 \cdot 0.4 \cdot (25/1.5)} = 0.514$$

Abaco de interacción para un recubrimiento de un 10% (0.04/0.4=0.1):

Del diagrama se obtiene que :  $\omega = 0.50$

$$U_1 = U_2 = 0.5 \cdot \omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} = 0.5 \cdot 0.50 \cdot 0.4 \cdot 0.35 \cdot (25/1.5) \cdot 10^3 = 583.33 \text{ kN}$$

Se toma a **5 $\phi$ 20** (682.95 kN)

f2) Plano lateral:

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1200 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1421}{0.4 \cdot 0.35^2 \cdot (25/1.5)} = 0.207 \quad ; \quad \nu = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{1200 \cdot 10^{-3}}{0.35 \cdot 0.4 \cdot (25/1.5)} = 0.514$$

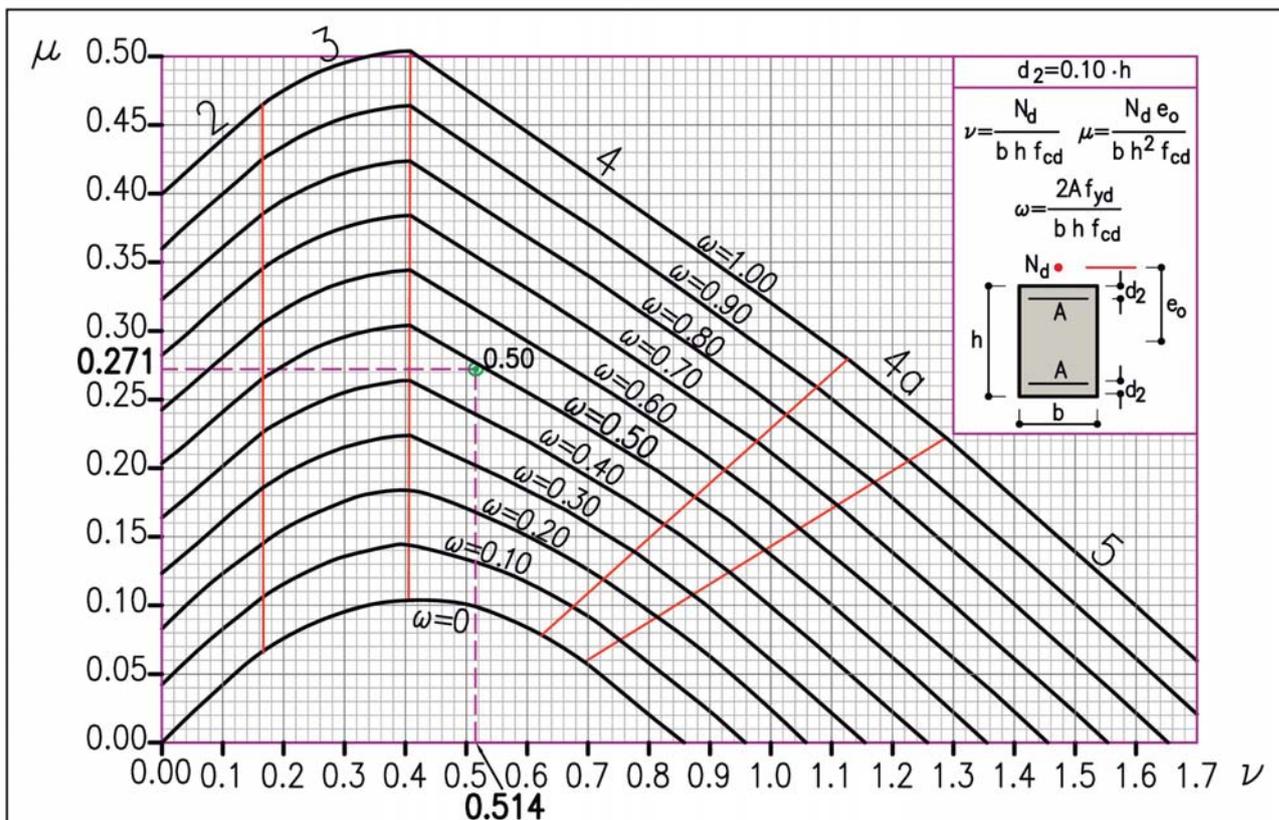
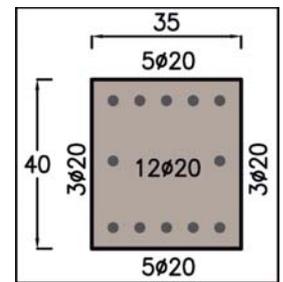
Se interpolará entre los ábacos de interacción para un recubrimiento de un 10% y 15% (0.4/0.35=0.114):

De ambos diagramas se obtiene que :  $\omega = 0.33$

$$U_1 = U_2 = 0.5 \cdot \omega \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} = 0.5 \cdot 0.33 \cdot 0.4 \cdot 0.35 \cdot (25/1.5) = 385 \text{ kN}$$

Se toma a **3 $\phi$ 20** (409.77 kN)

Nota: Con otros métodos y ábacos la armadura es menor



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 14 : ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION

★ **FUNCIONAMIENTO DE UNA VIGA:**

- Armadura traccionada de acero B400S. En E.L.S:

$$\sigma_s = \frac{f_{yk}}{\gamma_s \cdot \gamma_f} = \frac{400}{1.15 \cdot 1.35} = 258 \text{ N/mm}^2 \quad ; \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{258}{2.1 \cdot 10^5} = 1.2 \text{ por mil}$$

El hormigón tendrá la misma deformación, pero fisurado

- Conclusión: Con flexión o tracción y armaduras a plena carga, la fisuración es normal
- Otros fenómenos aumentan esta fisuración: retracción, variaciones térmicas, etc.

★ **IMPLICACIONES:**

- No reduce la resistencia
- Perjudica la durabilidad, función y aspecto del hormigón
- En ciertos casos será necesario comprobar la fisuración

★ **PÉRDIDA DE DURABILIDAD:**

- Si las fisuras son muy anchas, es más fácil la entrada de aire o agentes agresivos
- La protección del acero es el recubrimiento que pierde eficacia

★ **PÉRDIDA DE LA FUNCIÓN**

- En depósitos, acequias, es necesario el control de la fisuración

★ **ASPECTO DEL HORMIGÓN**

- La fisuración puede alterar mucho el aspecto de algunos elementos (hormigón visto, etc.)

REF. 1

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 14 : ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION

- En hormigón armado la fisuración es un **mal** necesario (necesario para que las armaduras entren en carga)
- Debemos conseguir que la anchura de las fisuras no sobrepase ciertos valores
- Formas de controlar la fisuración
  - ▶ Mayor cuantía de armadura para que trabajen a menor tensión
  - ▶ Aumentar las dimensiones de la sección (canto) para disminuir la tensión de trabajo
  - ▶ Aplicar tensiones de compresión antes o después de la puesta en carga (hormigón pretensado o postensado)
  - ▶ La durabilidad depende de la **compacidad** del hormigón y del recubrimiento. En proyecto puede aumentarse *r*

- **Estado de fisuración controlada:** no alcanzar la anchura máxima admisible de fisuras (según agresividad del ambiente)

- La comprobación del estado límite de fisuración es:  $w_k < w_{max}$

Siendo **w** el ancho de fisura, la comprobación se realiza entre:

**w<sub>k</sub>** : Valor característico, función de: \* Separación entre fisuras

\* Alargamiento medio del acero

**w<sub>max</sub>**: Máximo admitido para cada tipo de ambiente y recubrimiento de armadura previstos, función de: \* Condiciones ambientales

\* Condiciona un recubrimiento mínimo

REF. 2

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)	TEMA TEMA 14 : ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION	<b>CLASE EXPOSICIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b><math>w_{max}</math></b>
		I	Interiores de edificios	0.4
		IIa, IIb, H	Interiores HR1. Exteriores zonas de clima medio Elementos enterrados o sumergidos	0.3
			Exteriores zonas de clima seco	
		IIIa, IIIb, IV, F, Q <sub>a</sub>	Elementos estructuras marinas sobre el nivel de pleamar, sumergidas, o próximas a la costa Elementos en contacto con aguas no marinas de elevado contenidos en cloruros. Ataque químico débil	0.2
Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas. Ataque químico medio o fuerte				
IIIc, Q <sub>b</sub> , Q <sub>c</sub>	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas. Ataque químico medio o fuerte	0.1		

▶ Combinación cuasipermanente (todas las cargas variables afectadas con  $\psi_2$ )  
 ▶ En depósitos para evitar flujo de agua hacia el exterior (orientativo):  
     ➔  $w_{max} = 0.1$  mm si  $h_{agua/emuro} = 10$  y alternancia llenado-vaciado  
     ➔ Si se encuentra permanente sumergido  $w_{max} = 0.2$  mm  
 ▶ En vigas y pilares de edificación (viviendas, oficinas) **NO** suele ser limitativo.  
 ▶ En depósitos, muros de contención, estructuras en ambientes agresivos (alojamientos ganaderos, depuradoras, industrias), puede ser limitativo

REF. 3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)	TEMA TEMA 14 : ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION	<p>✳ <b>Determinación de la ANCHURA PREVISIBLE DE FISURAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Problema complejo y aleatorio</li> <li>▶ Depende de factores imprecisos como la resistencia a tracción del hormigón</li> <li>▶ Métodos de cálculo orientativos, con interés más <u>cuantitativo</u> que <u>cuantitativo</u></li> </ul> <p>✳ <b>PROCESO DE FISURACIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Desde la fisura, la armadura inicia su anclaje, transmite parte de su fuerza por adherencia al hormigón y reduce su tensión y alargamiento</li> <li>▶ La tensión del hormigón crece al alejarse de la fisura y la del acero disminuye</li> <li>▶ Nueva fisura intermedia al alcanzarse de nuevo la resistencia a tracción del hormigón</li> <li>▶ La fisuración se estabiliza cuando al aumentar las cargas, las fisuras aumentan en ancho pero no en número</li> </ul> <p>✳ <b>EVALUACIÓN DEL ANCHO DE FISURA:</b> <math>w_k = 1.7 \cdot s_m \cdot \epsilon_{sm}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>s_m</math> : Distancia media entre fisuras (depende de la geometría)</li> <li>• <math>\epsilon_{sm}</math> : Alargamiento medio del acero (depende del flector)</li> <li>▶ El ancho de fisura viene a equivaler al alargamiento medio del acero (<math>s_m \cdot \epsilon_{sm}</math>)</li> <li>▶ El factor 1.7 representa que las fisuras más anchas serían 1.7 veces el valor medio de la anchura de fisuras</li> <li>▶ <math>s_m</math> y <math>\epsilon_{sm}</math>: cálculo con fórmulas a partir de unas hipótesis de funcionamiento</li> <li>▶ Mayor <math>w_k</math> si el momento en servicio <math>M_k</math> supera más al de fisuración <math>M_f</math></li> </ul>
		REF. 4

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 14 : ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION

**\* CARACTERÍSTICAS GENERALES**

- ▶ Evaluación *compleja*, incluso en vigas a flexión simple
- ▶ Una sección de hormigón pierde rigidez por aumento de la carga debido a la fisuración (rigidez (EI) *variable*)
  - ➔ Menor rigidez en secciones con tracciones superiores a la resistencia a flexotracción del hormigón (apoyos, centro del vano)
  - ➔ Fluencia, retracción: cuantificación imprecisa. Insuficiente aplicar la R.M.

**\* EL ESTADO LÍMITE DE DEFORMACIÓN**

- ▶ Asegura el buen comportamiento en servicio de la estructura
- ▶ Comparación flecha estimada con flecha máxima admisible según función
- ▶ Comprobación más necesaria en la actualidad:
  - ➔ Estructuras más diáfnas y esbeltas. Hormigones más resistentes
  - ➔ Una mayor exigencia de calidad en la edificación
- ▶ Ejemplos:
  - ✗ Flechas excesivas en estructuras muy deformables
  - ✗ Fisuras en elementos no resistentes (tabiques, muros):
    - ➔ Deformación excesiva del elemento que los soporta
    - ➔ Apoyo de la viga sobre esos elementos
    - ➔ Incompatibilidad de deformaciones entre elementos estructurales y otros que no lo son
- ▶ El cálculo de deformación (E.L.S) se realiza con acciones y resistencias **características**, siendo todos los coeficientes de ponderación unitarios.

REF. 5

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 14 : ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION

- \* Las deformaciones máximas se comprueban según el **CTE-SE**
- \* Son comprobaciones recomendadas. En proyecto las fija el proyectista
- ① **FLECHA VERTICAL** (rigidez de la estructura horizontal)

1).-INTEGRIDAD ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS: **combinación característica**.  
Flecha activa: deformaciones ocurridas después de la puesta en obra del elemento  
Flecha límite admisible:

Pisos con tabiques frágiles (de gran formato, rasillones o placas, pavimento rígido sin juntas)	L/500
Tabiques ordinarios y pavimentos rígidos con juntas	L/400
Resto de los casos	L/300

- 2).-Confort de los usuarios: **combinación característica**, considerando sólo acciones de corta duración, la flecha relativa menor que **L/350**
- 3).-APARIENCIA DE LA OBRA **combinación cuasi permanente**, la flecha relativa menor que **L/300**. El objeto es limitar un efecto visual negativo

**Flecha positiva máxima:**

- ▶ EC-3: recomienda **L/250** respecto a la apariencia. **L/200** en techos en general
- ▶ EHE-08 aconseja como límites orientativos en edificaciones normales:
  - Flecha total: el menor entre **L/250** y **L/500 + 1 cm**
  - Flecha activa: **L/400**

REF. 6

**2 FLECHA HORIZONTAL** (diferencia de desplazamiento horizontal entre dos puntos)

 1).- **INTEGRIDAD ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**: combinación característica, desplome menor:

Desplome total referido a la altura total del edificio	$h_{Total}$	$h_{Total}/500$
Desplome local referido a cualquier planta de altura	$h_{Planta}$	$h_{Planta}/250$

 2).- **APARIENCIA DE LA OBRA**: combinación cuasi-permanente, el desplome relativo es menor que  $h/250$ .

 3).- **EC-3**: límite recomendado desplome extremo superior de las columnas de estructuras aporricadas sin puente grúa es de  $h/150$ .

 \* **VIGAS**: **no necesario comprobar** si la relación **luz/canto útil** es igual o inferior a:

Sistema estructural	Fuertemente armado ( $\rho = A_s/b_o \cdot d = 0.015$ )	Débilmente armado ( $\rho = A_s/b_o \cdot d = 0.005$ )
Viga simplemente apoyada	14	20
Viga continua en un extremo	18	26
Viga continua en ambos extremos	20	30
Voladizo	6	8

**Ejemplo** : Viga  $h = 0.26 \text{ m}$  ;  $L = 6 \text{ m}$ , Armado fuerte ( $\rho = 0.021$ ), continua en un extremo,  $L/h = 6/0.26 = 23 > 18$ . Es necesario comprobar la flecha

\* Depende de muchas variables, algunas muy difíciles de controlar en fase de proyecto, el cálculo es complejo e impreciso

 \* A veces puede ser suficiente realizar un cálculo elástico lineal con un módulo de deformación reducido  $E'$  que incluya la fluencia (Apartado 4.5.3)

\* Un cálculo más elaborado comprende (mediante un programa de cálculo):

 ► Cálculo de la **flecha instantánea** (*combinación característica*):

 ➔ Vigas cuyo momento de servicio  $M_k \leq M_f$  (momento de fisuración). Se usa la inercia de la sección bruta  $I_b$  de la pieza porque la pieza no se fisura

 ➔  $M_k > M_f$  : secciones fisuradas con pérdida de rigidez al disminuir la inercia. Mediante la fórmula de **Branson** se obtiene una inercia equivalente  $I_e < I_b$ . Conocida  $I_e$  en los apoyos y centro del vano, se obtiene una  $I_e$  de toda la pieza

 ► Cálculo de la **flecha diferida** (fluencia) (*combinación cuasipermanente*):

 ➔ Proporcional a la instantánea multiplicando las cargas permanentes ( $G, \psi_2 \cdot Q_i$ ) por un factor  $\beta$  función de:

♦ Duración de la aplicación de la carga

♦ Cuantía geométrica de la armadura comprimida (reduce la fluencia)

♦ Otras expresiones incluyen la influencia de la humedad y espesor medio

 ► Se debe definir un **HISTORIAL DE CARGAS** (14.5.2) o secuencia y modo de aplicación de cargas en el tiempo, pues influye en el valor del módulo de deformación  $E(t)$ , de la inercia  $I_e$  (depende de  $M_k$ , fisuración previa) y fluencia

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

→ VALOR CARACTERÍSTICO:

 $F_k$ 
**Permanentes:** Valor medio o valor nominal

**Uso:** Acción con probabilidad del 0.05 de superarse durante la vida de la estructura

**Acciones climáticas** (viento, nieve) : 0.02

→ Normativa: CTE SE-AE

→ Clasificación:

VARIACIÓN EN EL TIEMPO	<b>PERMANENTE (G)</b>	Actúan siempre Constantes en magnitud y posición	<b>Peso propio</b>
	<b>PERMANENTE NO CONSTANTE (G*)</b>	Actúan siempre pero de magnitud variable	Fluencia, retracción, pretensado, asientos.
	<b>VARIABLE (Q)</b>	Pueden actuar o no sobre la estructura	<b>Sobrecarga de uso (S), Nieve (N) Viento (V)</b>
	<b>ACCIDENTAL (A)</b>	Posibilidad de actuación pequeña pero de gran importancia	<b>Sismo, incendio, impacto, explosión</b>

REF.

1

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

**PESO DE FABRICAS Y MACIZOS**

<b>Sillería</b>	<b><math>kN/m^3</math></b>
De basalto	30
De granito	28
De caliza compacta	28
De arenisca	26
De arenisca porosa	24
<b>Mampostería</b>	<b><math>kN/m^3</math></b>
De arenisca	24
De basalto	27
De caliza compacta	26
De granito	26
<b>Fábrica de ladrillo</b>	<b><math>kN/m^3</math></b>
Cerámica macizo	18
Cerámico perforado	15
Cerámico hueco	12
Silicocalcáreo macizo	20
<b>Fábrica de bloques</b>	<b><math>kN/m^3</math></b>
Bloque hueco (pesado)	16
Bloque hueco (ligero)	13
Bloque hueco de yeso	10

**PESO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**

<b>Tabiques sin revestir</b>	<b><math>kN/m^2</math></b>
de rasilla (3 cm)	0.4
de ladrillo hueco (4.5 cm)	0.6
de ladrillo hueco (9 cm)	1.0
de ladrillo hueco (12 cm)	1.4
Bloque hueco 20 cm	3.0
<b>Revestimientos (por cm)</b>	<b><math>kN/m^2</math></b>
Enfoscado de cemento	0.20
Revoco de cal, estuco	0.15
Guarnecido de yeso	0.15
Alicatado	0.40
<b>Pavimentos</b>	<b><math>kN/m^2</math></b>
Baldosa hidráulica /cerámica	
Grueso 3 cm	0.5
Grueso 5 cm	0.8
Grueso 7 cm	1.1
<b>Cubiertas</b>	<b><math>kN/m^2</math></b>
Tablero de rasilla una hoja	0.4
Tablero de rasilla dos hojas	1.0
Aislamien. e impermeab.	0.06

REF.

2

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

PESO DE FABRICAS Y MACIZOS		PESO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	
<b>Hormigones</b>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>	<b>Materiales de cobertura</b>	<i>kN/m<sup>2</sup></i>
De grava, armado	25	Teja curva ligera	0.4
De grava, muy armado	26	Teja curva corriente	0.5
De grava en masa	24	Teja curva pesada	0.6
<b>Materiales</b>	<i>kN/m<sup>3</sup></i>	<b>Otros</b>	<i>kN/m<sup>2</sup></i>
Arena	14-19	Falso techo ligero	0.05
Cal (en polvo o terrón)	13	Falso techo de escayola	0.10
Cemento en sacos	15	Vidriera 5 mm espesor	0.25
Arena y Grava	15-20	Vidriera armada 6 mm	0.35
Acero	77-78.5	Hormigón para armar 0.01 m	25
<b>CUBIERTAS</b>			<i>kN/m<sup>2</sup></i>
Con faldones de chapa, tablero o paneles ligeros			1.0
De placas, teja o pizarra			2.0
De teja sobre tableros y tabiques palomeros			3.0
Plana, recrecido, con impermeabilizante visto protegido			1.5
Plana, a la catalana o invertida con acabado de grava			2.5

**TABIQUERÍA**

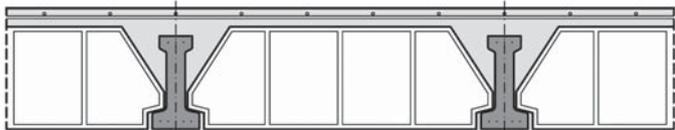
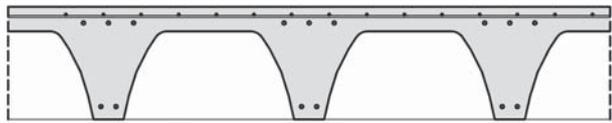
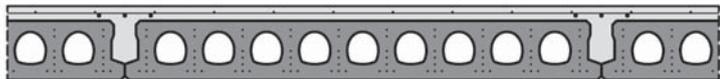
- ▶ **Viviendas:** en general puede adoptarse **1.00 kN/m<sup>2</sup>** de superficie construida
- ▶ **Peso de fachadas (cerramientos exteriores):** acción local independiente de la tabiquería

REF.

3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

<b>Forjado unidireccional de viguetas pretensadas</b>	
<b>Forjado bidireccional</b>	
<b>Losa maciza de hormigón</b>	
<b>Forjado colaborante (de chapa grecada)</b>	
<b>Placas alveolares prefabricadas</b>	

- Unidireccional, luces  $\leq 5$  m, grueso total  $< 0.28$  m **3 kN/m<sup>2</sup>**
- Uni o bidireccional, grueso total  $< 0.30$  m. **4 kN/m<sup>2</sup>**
- Bidireccional, grueso total  $< 0.35$  m. **5 kN/m<sup>2</sup>**
- Chapa grecada y capa de hormigón, grueso total  $< 0.12$  **2 kN/m<sup>2</sup>**
- Losa maciza de hormigón, grueso total 0.20 m. **5 kN/m<sup>2</sup>**

REF.

4

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

Categoría de uso. Zonas.		Subcategorías de uso. Zonas.		q kN/m <sup>2</sup>	P kN
Residenciales	A1	Viviendas y habitaciones (hospitales, hoteles)		2	2
	A2	Trasteros		3	2
Administrativas		(B)		2	2
De acceso al público (excepto las superficies de las categorías A, B y D)	C1	de mesas y sillas		3	4
	C2	de asientos fijos		4	4
	C3	sin obstáculos que impidan el libre movimiento		5	4
	C4	destinadas a gimnasios o actividades físicas		5	7
	C5	aglomeración (salas de conciertos, estadios)		5	4
Comerciales	D1	Locales comerciales		5	4
	D2	Super o hipermercados, grandes superficies		5	7
De tráfico y parking vehículos ligeros (peso total < 30 kN) (E)				2	20
Cubiertas transitables accesibles solo privadamente (F)				1	2
Cubiertas accesibles solo para conservación	G1	Cubierta $\alpha < 20^\circ$	$P \leq 1 \text{ kN/m}^2$	0.4	1
			$P > 1 \text{ kN/m}^2$	1	2
	G2	Cubiertas $\alpha > 40^\circ$		0	2

q : carga distribuida uniformemente

P: carga concentrada en cualquier punto de la zona para comprobaciones locales, sobre un cuadrado de 50 mm de lado, **excepto E.**

REF.

5

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)

TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

**Depende de:**

- *Clima del lugar*, según zona de ubicación
- *Tipo de precipitación* : peso específico nieve: 1.2 kN/m<sup>3</sup>, prensada o empapada: 2.0 kN/m<sup>3</sup>; mezclada con granizo: 4 kN/m<sup>3</sup>
- *Relieve del entorno*
- *Forma del edificio o de la cubierta*: pendiente, posible de deslizamiento y acumulación de nieve
- *Efectos del viento*: se reduce un 20% si está protegida o subir un 20% si está muy expuesta
- *Intercambio térmico en paramentos exteriores*

**Cuantificación:**

EDIFICACIÓN: Cubiertas planas de pisos de altitud < 1000 m suficiente adoptar **1 kN/m<sup>2</sup>**

ESTRUCTURAS LIGERAS sensibles a la carga vertical:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

$q_n$  Valor de la carga de nieve por unidad de superficie de proyección horizontal

$s_k$  Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal (Tabla)

$\mu$  Coeficiente de forma. Considera el depósito irregular de nieve por viento:

Tipo superficie	Puede deslizar la nieve			Impedido
Angulo cubierta	$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$	Indep.
Coeficiente $\mu$	1	$(60 - \alpha)/30^*$	0	1

\*Nota: entre 30° y 60° se interpola entre 1 y 0

REF.

6

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACION



Altitud (m)	Zona de clima invernal según SE-AE						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
200	0.5	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
400	0.6	0.6	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2
500	0.7	0.7	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2
600	0.9	0.9	0.3	0.5	0.5	0.4	0.2
700	1.0	1.0	0.4	0.6	0.6	0.5	0.2

Altitud (m)	Zona de clima invernal según SE-AE						
	1	2	3	4	5	6	7
800	1.2	1.1	0.5	0.8	0.7	0.7	0.2
900	1.4	1.3	0.6	1.0	0.8	0.9	0.2
1000	1.7	1.5	0.7	1.2	0.9	1.2	0.2
1200	2.3	2.0	1.1	1.9	1.3	2.0	0.2
1400	3.2	2.6	1.7	3.0	1.8	3.3	0.2
1600	4.3	3.5	2.6	4.6	2.5	5.5	0.2

REF. 7

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACION

► **Viento de velocidad "v" (m/s)**, aire ( $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ ), actuando perpendicular a un área ilimitada que reduce  $v = 0$ , provoca una presión dinámica "q<sub>b</sub>" sobre la unidad de área:

$$q_b = \frac{v^2}{1600} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \text{Ejemplo: } 26 \text{ m/s (94 km/h) provoca una presión de } 0.42 \text{ kN/m}^2$$

► **Valor básico de la velocidad de viento:** velocidad media del viento durante 10', zona plana y despejada, h = 10 m, y probabilidad anual de ser superada de 0.02

► Según SE-AE, la **presión dinámica** del viento q<sub>b</sub> vale:

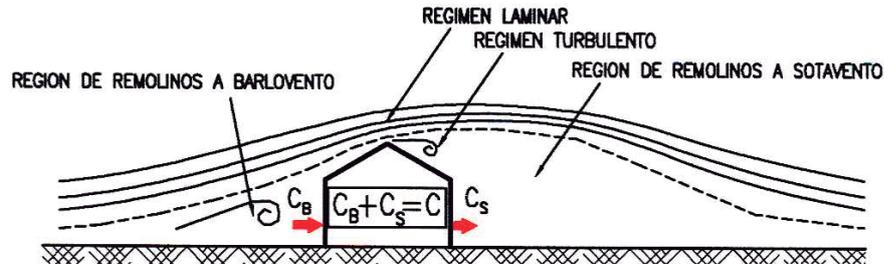
- Simplificadamente en cualquier punto de España: **0.5 kN/m<sup>2</sup>**
- Más preciso a partir del mapa:

Zona	Velocidad básica del viento en m/s	Presión dinámica en kN/m <sup>2</sup>
A	26	0.42
B	27	0.45
C	29	0.52



REF. 8

- ▶ La distribución y valor de las presiones del viento sobre un edificio dependen:
  - **Intensidad** del viento:  $q_b$  o presión dinámica del viento
  - **Altura** de la edificación : crece con la altura
  - **Grado de aspereza** del entorno: el relieve y topografía del terreno (turbulencias)
  - **Forma, orientación y distancia** del punto considerado al borde de la pared o cubierta del edificio
  - **Características** (rugosidad entre otras) y **permeabilidad** de las paredes
- ▶ No se consideran los efectos **dinámicos** del viento si  $\lambda = h/L < 6$
- ▶ El viento contra un volumen limitado y definido, **presiona** a barlovento B y **succiona** a sotavento. El empuje total es la suma de ambas:



- **Coeficientes eólicos o aerodinámicos:** valor medio de la presión "B" a barlovento  $C_B$  y de la succión "S" a sotavento  $C_S$
- **Coeficiente global:**  $C = C_B + C_S$
- **Coeficiente en cubierta:** si es plana es de débil succión
- **Coeficientes locales** actuando en una superficie reducida y esquinas del edificio (correas, carpintería metálica, etc.) en esa zona. Superiores a los valores globales

**Presión estática  $q_e$  normal a la superficie:**

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

$q_b$  Presión dinámica del viento

$c_e$  Coeficiente de exposición. Aumenta con la altura del punto considerado y el grado de aspereza del entorno. En edificios urbanos de hasta 8 plantas puede tomarse  $c_e = 2.0$

$c_p$  Coeficiente eólico o de presión: depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento y en su caso de la situación del punto respecto a los bordes

**Coeficiente de exposición  $c_e$ :**

- Tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y topografía del terreno
- El entorno se clasifica en el primero de los tipos de siguientes según la dirección analizada:

	Grado de aspereza del entorno
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios de pequeña altura

Los coeficientes de exposición  $c_e$  pueden obtenerse de la tabla:

h (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	1.7	2.0	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0
II	1.5	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0
III	1.4	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6
IV	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1
V	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5

Coeficientes Eolicos  $c_p$  en edificios de pisos:

Esbeltez en el plano paralelo al viento	<0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	≤5.00
Presión a barlovento, $c_p$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
Succión o sotavento, $c_s$	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7

El viento da lugar a diversas hipótesis de carga:

- ▶ Cualquier dirección desfavorable sin considerar construcciones contiguas (medianeras)
- ▶ Suele ser suficiente dos direcciones ortogonales
- ▶ En cada dirección: en ambos sentidos (no necesario si el edificio es simétrico)
- ▶ Viento de succión en cubiertas planas: se desprecia del lado de la seguridad salvo cubiertas ligeras (naves)

### EFFECTOS SÍSMICOS EN LOS EDIFICIOS

Concepto: Movimiento del suelo tal que los edificios se ven impulsados a seguir ese movimiento, recibiendo una fuerza en su base proporcional a su masa

Aspectos principales:

- a) **Aceleración máxima**: afecta al cortante en la base del edificio
- b) **Vibración**: fuerzas de naturaleza dinámica que cambian de intensidad y de signo en un pequeño intervalo de tiempo
- c) **Período propio de vibración**: tiempo que tarda el edificio en realizar una oscilación libre que si es cercano al período del sismo, se amplifica por efecto de la **resonancia**

### CUANTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES SÍSMICAS

- 1) **Masa M del edificio** y su **distribución**. Afecta a las fuerzas de inercia y período fundamental de vibración de la estructura
- 2) **Intensidad del sismo** depende de las características de la zona, magnitud del sismo, propiedades del suelo y de la **peligrosidad sísmica** o grado de afección del sismo sobre una edificación en particular
- 3) **Amplitud de la respuesta** depende de la relación entre el período de vibración de la estructura y el período dominante en la vibración del suelo. Más cerca de 1, más resonancia y amplitud de respuesta

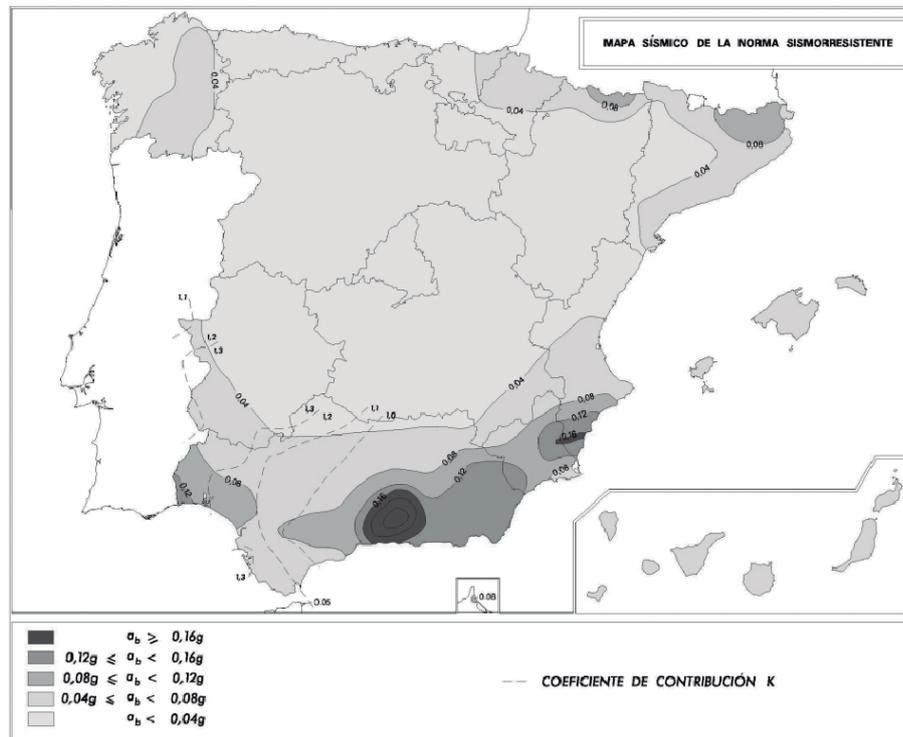
Cualitativamente, expresión que resume el cálculo del cortante "V" en la base del edificio:

$$V = Z \times C(T) \times M$$

- Z : Coeficiente dependiente de la zona (intensidad del sismo)  
 C(T) : Función del período fundamental de vibración de la estructura  
 M : Masa total del edificio

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

**Aceleraciones básicas de cálculo  $a_b$  (NCSE-02)**  
**“Norma de Construcción Sismorresistente”**



REF. 13

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08)  
TEMA TEMA 15 : ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN

1) **Ámbito de aplicación** (tipos de construcciones):

- **De moderada importancia:** probabilidad despreciable de que su destrucción pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir daños económicos significativos a terceros (silos, acequias, naves almacén, instalaciones ganaderas, invernaderos)
- **De normal importancia:** su destrucción puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni con efectos catastróficos (Viviendas y oficinas)
- **De especial importancia:** puede interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos (hospitales, comunicaciones, bomberos, policía, protección civil, depósitos de agua, gas, centrales eléctricas, monumentos, centrales nucleares, térmicas, presas, etc.)

**No es obligatoria la aplicación de la Norma :**

- En las construcciones de **moderada importancia**
- En las demás construcciones, cuando  $a_b < 0.04g$ , siendo  $g$  la aceleración de la gravedad
- En las construcciones de importancia normal cuando el edificio disponga de los elementos de **arriostramientos** efectivos siendo a  $a_b < 0.08g$

2) **Cálculo:** Se aplica el cálculo dinámico estructural bien con el método directo (mediante acelerogramas reales) o con el método simplificado que propone la Norma

3) Redacción del **proyecto** técnico: Cumplimiento de la Norma

Memoria de proyecto: se incluirá **preceptivamente** un apartado de “**Acciones sísmicas**”

4) **Disposiciones constructivas:** son preceptivas las indicadas en la Norma cuando  $a_b > 0.12g$  y recomendadas en el resto de casos. Se refieren:

Distribución y regularidad de masas del edificio, forma en planta regular, evitar apeos de pilares o vigas, separación de juntas de construcción (impactos entre edificios), distribución de huecos en muros, apoyos de vigas, etc.

REF. 14

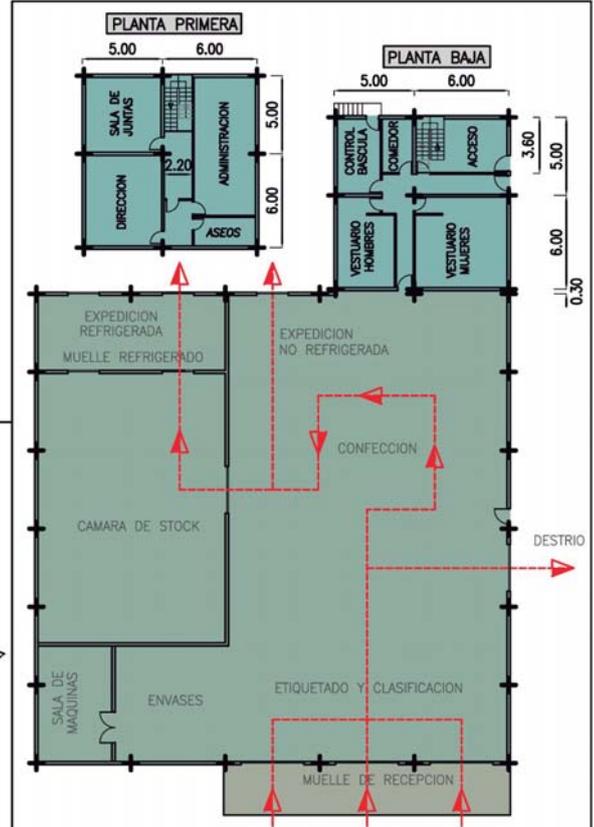
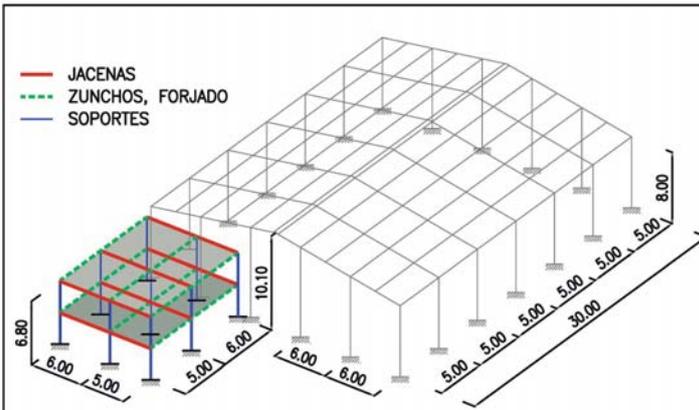
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

**1a.- DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

- Situación
- Forma geométrica (planta y alzados)
- Dimensiones
- Materiales y elementos constructivos de cubierta, cerramientos, forjados, huecos, etc.

**1b.- JUSTIFICACIÓN (Opcional)**

- Necesidades funcionales
- Reparto y distribución de superficies
- Alturas disponibles, etc.

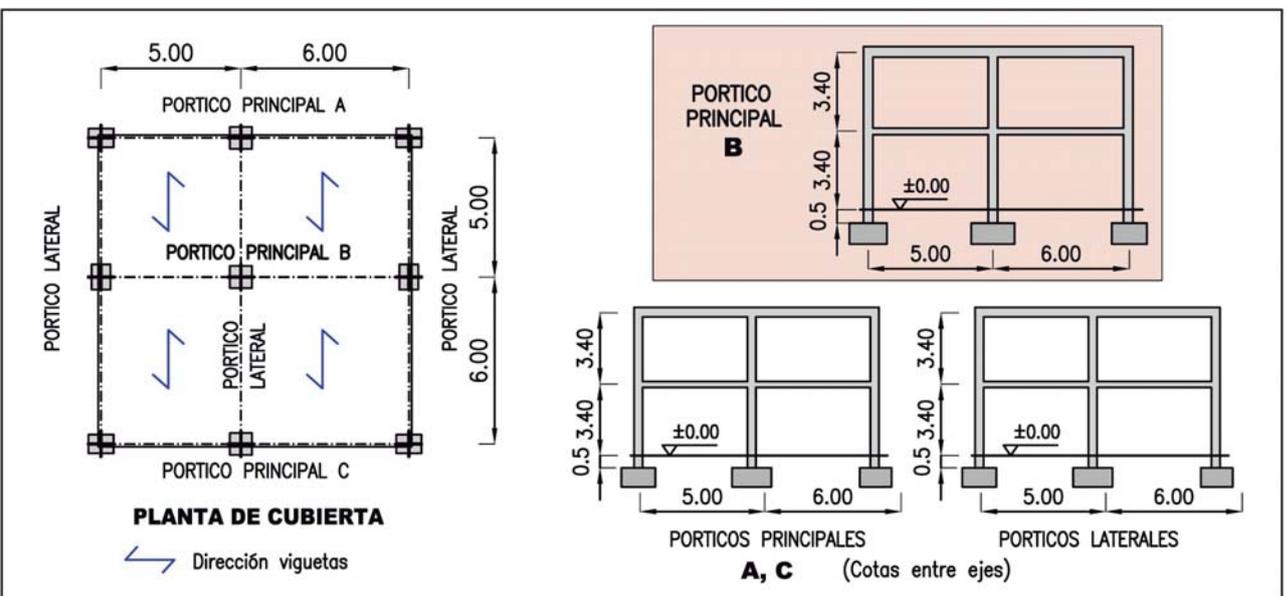


REF. 1

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

**1c.- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

- (a) **PORTICOS PRINCIPALES** (soportan el forjado) A, B, C: 6 y 5 m de luz. Se va a analizar el pórtico B, cuyo ancho tributario es  $(6+5)/2 = 5.5$  m. Altura de planta 3.40 m. Total 6.80 m, resto de 1.20 hasta 8 m son el forjado, la cubierta y alero en terraza
- (b) **PÓRTICOS LATERALES** (D, E y F)



REF. 2

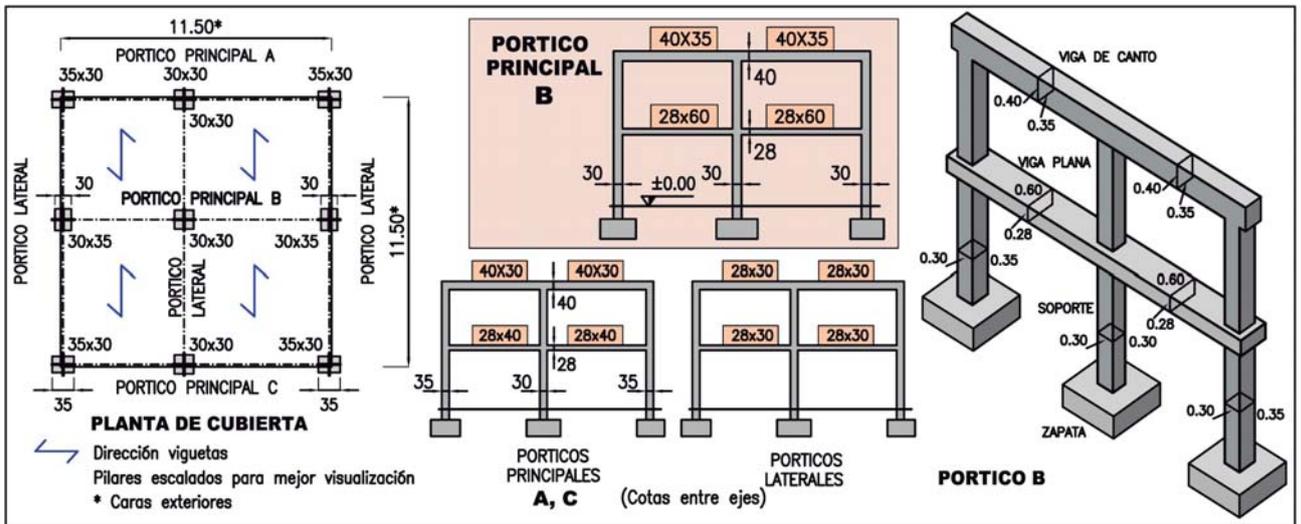
ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

**2.- MATERIALES EMPLEADOS**

Descripción técnica del hormigón (HA-30) y acero (B500S) a emplear en proyecto

**3.- PREDIMENSIONADO PORTICO B**

**Pilares: centrales:** 30x30 cm      **Pilares extremos:** 30x35 cm  
**Jácnas planas (1º planta):** 28x60 (hxb): canto 28 cm, anchura 60 cm  
**Jácnas de canto (cubierta):** 40x35 (hxb). *Cuelga del forjado (40 – 28 = 12 cm)*  
**Zunchos de atado (laterales):** 28x30 (hxb)



REF. 3

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

Acciones según la norma CTE-SE AE.

**OFICINAS 1º PLANTA:**

**a) Cargas permanentes G:**

Peso propio estructura: Pilares, jácnas planas y zunchos de atado. Peso específico del hormigón armado: 2500 kg/m <sup>3</sup>	(programa)
Forjado unidireccional de viguetas pretensadas de canto 20 cm, interejes 70 cm, incluso losa superior de espesor 4 cm (0.25 kN/m <sup>2</sup> por cm) y bovedillas de bloque de hormigón. Canto total 24 + 4 = 28 cm <sup>(1)</sup>	4.0 kN/m <sup>2</sup>
Pavimento (baldosa cerámica 6 cm incluso relleno)	1.0 kN/m <sup>2</sup>
Falso techo de escayola incluso instalaciones	0.2 kN/m <sup>2</sup>
Tabiquería (interior)	1.0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Total Permanente</b> .....	<b>6.2 kN/m<sup>2</sup></b>

**b) Sobrecarga de uso S**

<b>Zonas administrativas (categoría B)</b>	<b>2.0 kN/m<sup>2</sup></b>
--	-----------------------------

<sup>(1)</sup> Para forjados de 28 ó 30 cm de canto (lucos superiores a 5 m.): 400 kg/cm<sup>2</sup>

REF. 4

**OFICINAS CUBIERTA:**
**a) Cargas permanentes G :**

Peso propio estructura: Pilares, jácenas de canto y zunchos de atado cubierta. Peso específico del hormigón armado: 2500 kg/m <sup>3</sup>	
Forjado unidireccional idéntico 1º planta	4.0 kN/m <sup>2</sup>
Impermeabilizante, aislamiento térmico, formación de pendientes y doble tablero de rasilla	1.5 kN/m <sup>2</sup>
Falso techo de escayola incluso instalaciones	0.2 kN/m <sup>2</sup>
Total permanente .....	5.7 kN/m <sup>2</sup>

**b) Sobrecarga de uso S**

Cubierta transitable accesible sólo privadamente (F)	1.0 kN/m <sup>2</sup>
--	-----------------------

**c) Sobrecarga de nieve N**

Para cubiertas planas de un edificio de pisos (h < 1000 m)	1.0 kN/m <sup>2</sup>
--	-----------------------

**FACHADAS:**

<b>Cerramientos exteriores</b> : tabicón de ladrillo hueco caravista de 12 cm, cámara de aire y aislamiento térmico, tabique de 8 cm y guarnecido	2.4 kN/m <sup>2</sup>
---	-----------------------

**b) Viento V:**

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

 b1) Presión dinámica del viento  $q_b$ , en cualquier punto de España:

$$0.5 \text{ kN/m}^2 \text{ (102 km/h)}$$

b2) Coeficiente de exposición:

 Grado de aspereza del entorno II : terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia.  $h = 8 \text{ m}$ , el valor es:

$$c_e = 2.6$$

 b3) Coeficientes de presión  $c_p$  para edificios de pisos:

**Esbeltez  $\lambda$ :**  $h_{\text{edificio}} = 8 \text{ m}$ ,  $L_{\text{edificio}} = 11 \text{ m}$ . (en la dirección del viento)

$$\lambda = 8/11 = 0.73$$

- Coeficiente eólico barlovento : **+0.80** (presión sobre la fachada)

- Coeficiente eólico sotavento : **-0.40** (succión sobre la fachada)

 Coeficiente eólico global en dirección horizontal :  $c_p = (+0.80 + 0.4) = 1.20$ 

No se considera succión del viento en la cubierta.

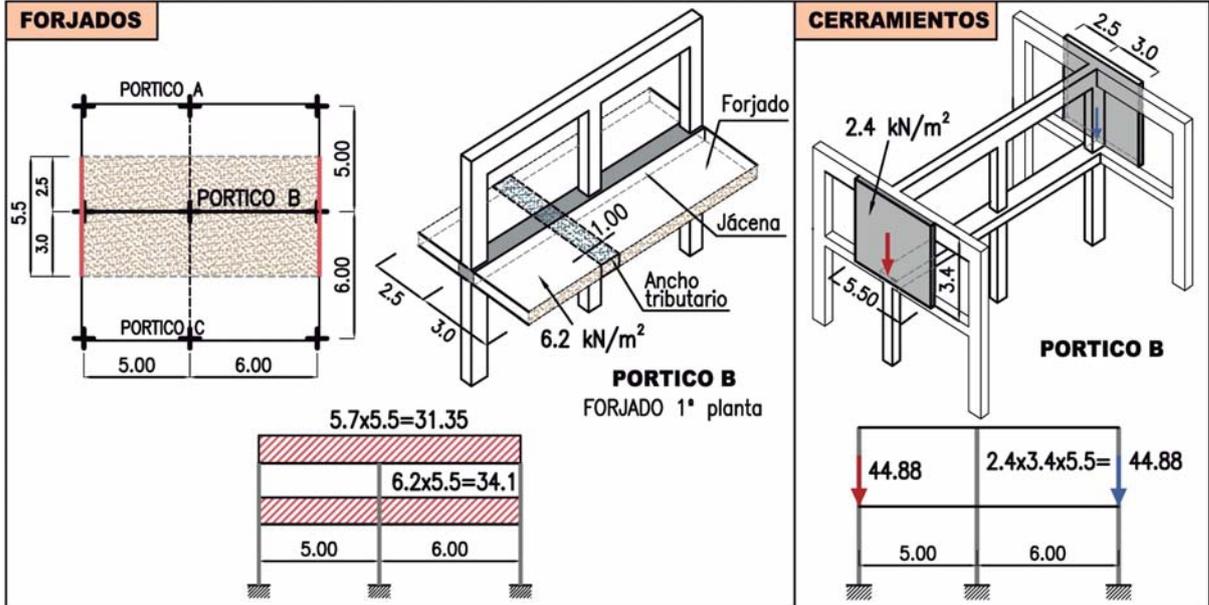
b4) Presión estática total:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.6 \cdot 1.20 = 1.56 \text{ kN/m}^2$$

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA

TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

Las acciones referidas a la unidad de superficie de elemento constructivo ( $\text{kN/m}^2$ ), se aplicarán a barras (forjados,  $\text{kN/m}$ ) o a los nudos (cerramiento,  $\text{kN}$ )



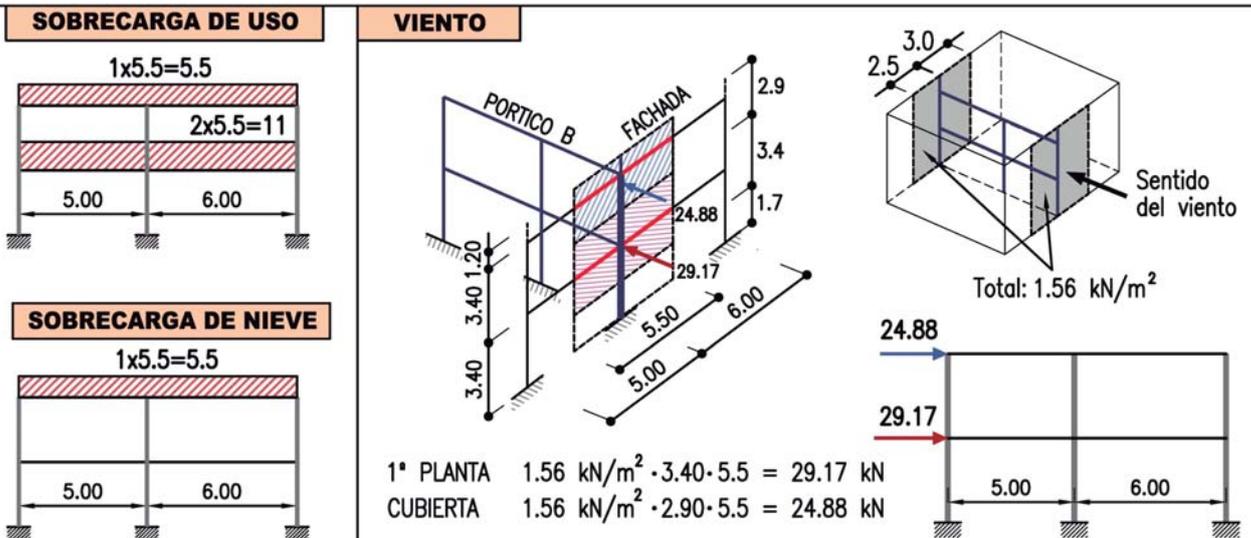
<b>Forjado 1º planta:</b>	$6.2 \text{ kN/m}^2 \times \text{anchura media } 5.50 \text{ m} =$	<b>34.10 kN/m</b>
<b>Cubierta:</b>	$5.7 \text{ kN/m}^2 \times \text{anchura media } 5.50 \text{ m} =$	<b>31.35 kN/m</b>
<b>Cerramientos exteriores:</b>	$2.4 \text{ kN/m}^2 \times \text{altura } 3.40 \text{ m} \times \text{ancho medio } 5.5 \text{ m} =$	<b>44.88 kN</b>

REF.

7

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA

TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA



- ▶ **Viento:** Carga superficial en fachada. Para simplificar, se suma la presión a barlovento más la succión a sotavento, y se coloca en uno de los lados ( $c_{p,global} = 1.2$ )  
 $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.6 \cdot 1.20 = 1.56 \text{ kN/m}^2$
- ▶ Se transmite por sus cuatro lados a pilares, forjados o solera hasta el nudo como una carga puntual
- ▶ Por la asimetría da lugar a dos hipótesis: **V1:** viento izq.-der., **V2:** viento der.-izq.

REF.

8

**1. Hipótesis de carga:**

- Gravitatorias: Permanente (**G**), Sobrecarga de uso (**S**) y Nieve (**N**)
- Viento en cada dirección (**V1** → izq.- der.) ; (**V2** ← der,-izq.).  
Simplificadamente, se va a hacer **V1 = -V2**

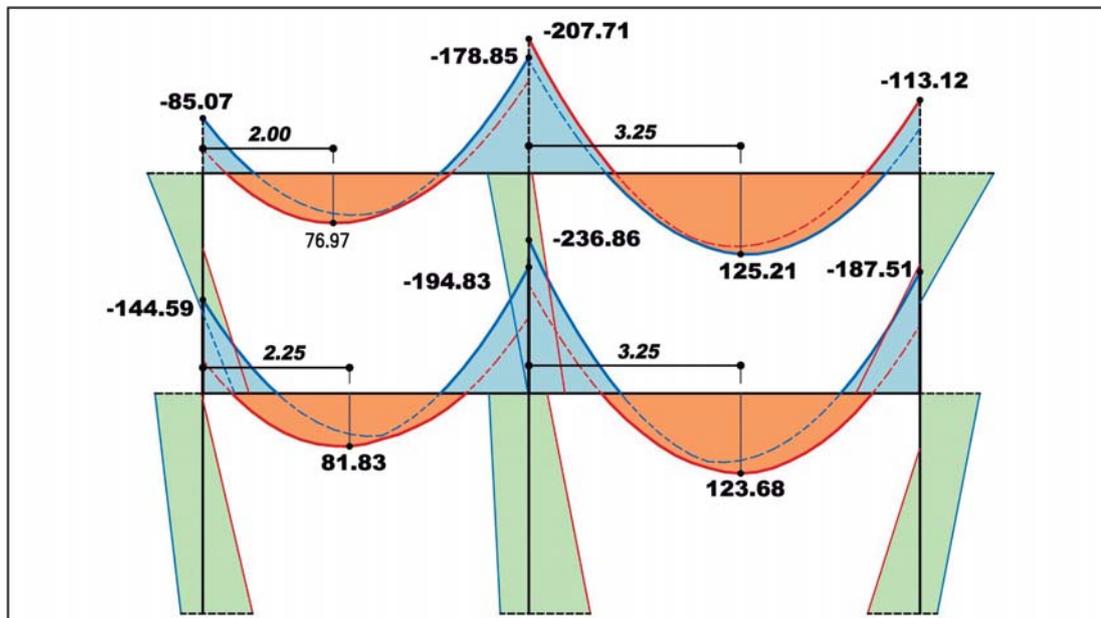
**2. Coeficientes de simultaneidad  $\psi_0$  y de mayoración  $\gamma$ :**

		$\psi_0$	$\gamma$	Factor final como carga variable acompañante $\psi_0 \cdot \gamma$
Permanente	<b>G</b>	1.0	1.35	-
Sobrecarga de uso	<b>S</b>	0.7	1.50	1.05
Nieve	<b>N</b>	0.5	1.50	0.75
Viento	$\pm V1$	0.6	1.50	0.90

**3. Combinaciones de carga:**

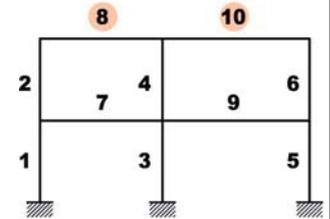
Nº	Variable principal	Combinación
1	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N$
2 y 3	S	$1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N \pm 0.90 \cdot V1$
4 y 5	$\pm V1$	$1.35 \cdot G \pm 1.50 \cdot V1 + 0.75 \cdot N + 1.05 \cdot S$

- ▶ Se realiza mediante un programa informático de cálculo de estructuras de barras
- ▶ Tipo de análisis: Análisis plano, elástico lineal, estático y de 1º orden
- ▶ Se pueden utilizar expresiones sencillas útiles para comprobar aproximadamente los resultados (flectores máximos)
- ▶ Se obtiene la envolvente de flectores (máximo y mínimo en cada sección de las jácenas, separadas 0.25 m) entre las 5 combinaciones definidas:



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

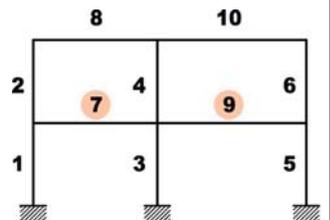
Barra	Sección m	M(max) KN-m	M(min) KN-m	Barra	Sección m	M(max) KN-m	M(min) KN-m
8	0.00	-36.77	<b>-85.07</b>	10	0.00	-173.80	<b>-207.71</b>
	0.25	-10.12	-54.20		0.25	-130.41	-159.85
	0.50	12.98	-26.88		0.50	-90.57	-116.57
	0.75	32.53	-3.12		0.75	-54.28	-77.10
	1.00	48.53	17.09		1.00	-21.55	-41.19
	1.25	60.97	33.75		1.25	7.63	-8.82
	1.50	69.85	46.86		1.50	33.26	19.98
	1.75	75.19	56.41		1.75	55.49	45.24
	2.00	<b>76.97</b>	62.40		2.00	75.48	66.94
	2.25	76.08	64.85		2.25	91.76	85.09
	2.50	71.51	63.74		2.50	104.34	99.68
	2.75	63.24	59.07		2.75	114.79	108.09
	3.00	52.64	48.55		3.00	121.85	112.39
	3.25	39.48	32.56		3.25	<b>125.21</b>	113.14
	3.50	23.76	13.02		3.50	124.87	110.34
	3.75	4.88	-10.07		3.75	120.81	103.99
	4.00	-17.55	-36.72		4.00	113.05	94.08
4.25	-43.53	-66.92	4.25	102.34	80.61		
4.50	-73.07	-100.68	4.50	88.51	63.60		
4.75	-106.16	-137.98	4.75	71.12	43.03		
5.00	-142.81	<b>-178.85</b>	5.00	50.18	18.91		
			5.25	25.68	-8.77		
			5.50	-2.37	-40.00		
			5.75	-33.97	-74.79		
			6.00	-69.12	<b>-113.12</b>		



REF. 11

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 16 : PROYECTO: DATOS DE PARTIDA

Barra	Sección m	M(max) KN-m	M(min) KN-m	Barra	Sección m	M(max) KN-m	M(min) KN-m
7	0.00	-51.20	<b>-144.59</b>	9	0.00	-167.72	<b>-236.86</b>
	0.25	-20.89	-105.75		0.25	-123.16	-183.59
	0.50	5.48	-70.86		0.50	-82.54	-136.77
	0.75	27.90	-39.92		0.75	-45.87	-93.91
	1.00	46.37	-12.93		1.00	-13.15	-54.99
	1.25	60.89	10.12		1.25	15.62	-20.02
	1.50	71.47	29.22		1.50	40.45	11.00
	1.75	78.10	44.38		1.75	61.33	38.07
	2.00	81.19	55.59		2.00	80.37	61.20
	2.25	<b>81.83</b>	62.85		2.25	95.88	80.39
	2.50	78.22	66.17		2.50	107.13	95.62
	2.75	70.58	65.16		2.75	115.03	105.39
	3.00	63.57	52.06		3.00	121.49	106.54
	3.25	52.44	35.01		3.25	<b>123.68</b>	103.74
	3.50	39.97	14.02		3.50	121.63	97.00
	3.75	23.55	-10.93		3.75	115.31	86.30
	4.00	3.19	-39.81		4.00	104.74	71.67
4.25	-21.12	-72.65	4.25	91.77	53.08		
4.50	-49.38	-109.43	4.50	75.43	30.55		
4.75	-81.58	-150.16	4.75	55.15	4.07		
5.00	-117.73	<b>-194.83</b>	5.00	30.92	-26.35		
			5.25	2.74	-60.72		
			5.50	-29.38	-99.04		
			5.75	-65.45	-141.30		
			6.00	-105.46	<b>-187.51</b>		



REF. 12

1.- Resultante global de los esfuerzos:

Reacciones totales	Combinación	Global horizontal	Global vertical
	Envolvente	81.07 kN	1590.39 kN

► **Fuerzas horizontales**

ACCIONES CARACTERÍSTICAS	1º planta		Cubierta		TOTAL	
	kN/m <sup>2</sup>	kN	kN/m <sup>2</sup>	kN	kN	kN
<b>PERMANENTES</b>						
Forjados: (5.5·11 = 60.5 m <sup>2</sup> )	6.2	375.1	5.70	344.85	719.95	
Cerramientos (5.5·3.4·2 = 37.4 m)	2.4	89.76	-	-	89.76	
Peso propio: 133.08 kN					133.08	
Total						942.79
<b>SOBRECARGA DE USO</b>	2	121	1	60.5		181.50
<b>NIEVE</b>			1	60.5		60.5

Carga gravitatoria mayorada:

$$(1.35 \cdot G + 1.50 \cdot S + 0.75 \cdot N) = 1.35 \cdot 942.79 + 1.50 \cdot 181.50 + 0.75 \cdot 60.5 = 1590.39 \text{ kN}$$

Coincide con la resultante acciones verticales = 1590.39 kN del programa

► **Fuerzas horizontales**

$$5.5 \text{ m} \cdot (3.4 + 2.90) = 34.65 \text{ m}^2. \text{ (superficie expuesta al viento)}$$

$$1.56 \text{ kN/m}^2 \cdot 34.65 \text{ m}^2 \cdot 1.50 = 81.07 \text{ kN}$$

Coincide con la resultante acciones horizontales = 81.07 kN del programa

2.- Flector barra más solicitada:

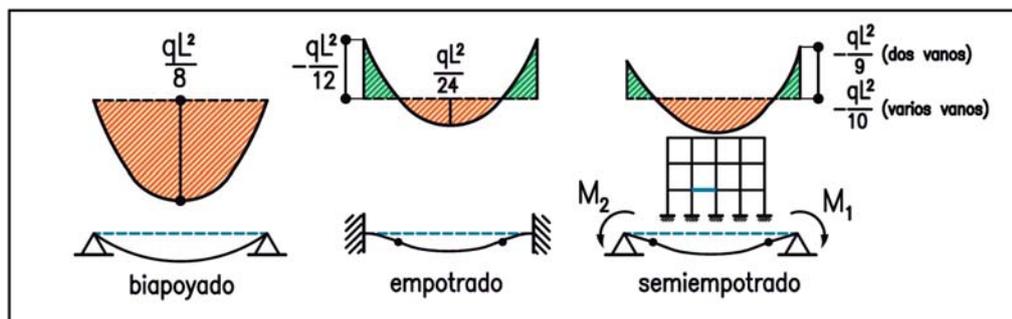
- Flector máximo jácena 1º planta (barra 7), L = 6 m, b = 5.5 y Comb. 1.

$$q = [6.2 \cdot 1.35 + 2 \cdot 1.5] \cdot 5.5 + (0.6 \cdot 0.28 \cdot 24.517) \cdot 1.35 = 18.10 \text{ kN/m}$$

El máximo momento negativo es aproximadamente:

$$M_{\max} \approx q \cdot L^2 / 9 \rightarrow M_{\max} \approx 68.10 \cdot 5.5^2 / 9 = 229 \text{ kNm}$$

Programa:  $M_{\max} = 236.86 \text{ kNm}$



- Cubierta (barra 8):

$$q = [5.7 \cdot 1.35 + 1 \cdot 1.5 + 1 \cdot 0.75] \cdot 5.5 + (0.4 \cdot 0.35 \cdot 24.517) \cdot 1.35 = 59.33 \text{ kN/m}$$

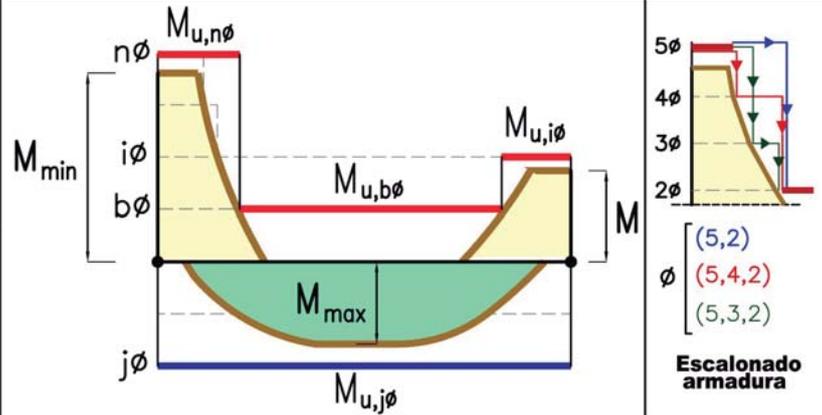
$$M_{\max} = q \cdot L^2 / 9 \rightarrow M_{\max} = 59.33 \cdot 5.5^2 / 9 = 199.42 \text{ kNm}$$

Programa:  $M_{\max} = 207.71 \text{ kNm}$

<b>Viga 10</b>	(-)	(+)	(-)
$M_{actuante}$ $M_d$	$M_{min}$ -207.71	$M_{max}$ 125.21	$M$ -113.12
$M_{resistido}$ $M_u$	$M_{u, n\phi}$	$M_{u, j\phi}$	$M_{u, i\phi}$

Debe ser  $M_u \geq M_d$

$M_{u, b\phi}$	$M_{u, i\phi}$	$M_{u, j\phi}$	$M_{u, n\phi}$
			



1) Dimensionado del armado máximo cara superior o negativos

$M_{min} = 207.71$ : Es el máximo momento de toda la viga. Ocurre en uno de los apoyos

2) Momentos resistidos o de agotamiento  $M_u$  para otras cuantías de armadura

Cuadro de  $M_u$ : Se definen otros armados menores:

- $b(\phi)$ : Armado básico o mínimo. Debe respetar la cuantía mínima  $M_{u, b\phi}$
- $i(\phi)$ : Uno o varios armados intermedios  $M_{u, i\phi}$

Respecto a la armadura en la zona comprimida:

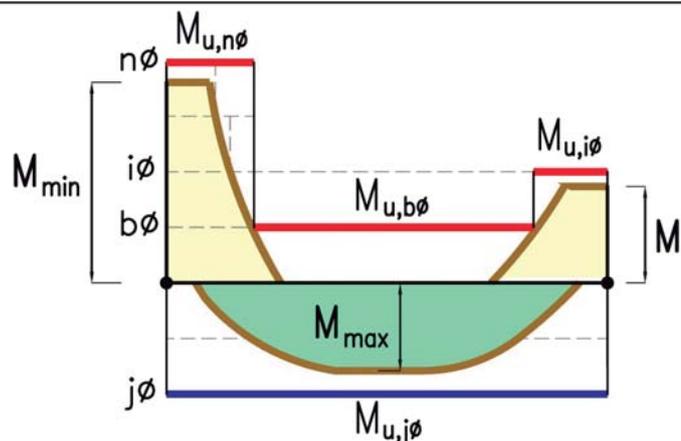
- Si no se necesita armadura a compresión, no se considera armadura en esa zona ( $\omega_2 = 0$ )
- Si es necesaria, se considera esa armadura  $\omega_2$ .

Tabla de flectores resistidos para diversos armados:

$n\phi, (n-1)\phi, \dots, i\phi, \dots, b\phi$

$M_{u, b\phi}$	$M_{u, i\phi}$	$M_{u, j\phi}$	$M_{u, n\phi}$
			

$n\phi$		$M_{n\phi}$
$(n-1)\phi$	$\omega \rightarrow \mu$	$M_{(n-1)\phi}$
$i\phi$		$M_{i\phi}$
$b\phi$		$M_{b\phi}$



3) Armado negativos extremo opuesto

$M = 113.12$ : se busca en el cuadro el armado necesario  $(i\phi)$

4) Armado cara inferior o positivos

Se establece constante en toda la viga

$M_{max} = 125.21$ : se busca en el cuadro el armado necesario  $(j\phi)$

5) Distribución de la armadura de refuerzo/montaje a negativos (despiece):

A partir del flector resistido  $M_{u, b\phi}$  por la armadura básica  $(b\phi)$

Calcular la longitud sin reforzar localizando en la Tabla de  $M_d$  del programa de cálculo, la longitud tal que  $M_{u, b\phi} < M_d$

Sección rectangular  $b = 0.35 \text{ m}$  y  $h = 0.4 \text{ m}$ , solicitada por  $M_{\min} = 207.71 \text{ kNm}$   
Hormigón HA-30 y el acero es B500S ;  $\gamma_c = 1.5$  (hormigón) ;  $\gamma_s = 1.15$  (acero):

1) Determinación del canto útil d:

- **Recubrimiento mínimo:** 20 mm (Tabla 11.1)
- **Recubrimiento mecánico:** se estima máximo cercos  $\phi 10$  y armadura longitudinal  $\phi 20$ :

$$r_{\text{mec}} = r_{\text{min}} + \phi_{\phi 10} + \phi_{\phi 20}/2 = 20 + 10 + 20/2 = 40 \text{ mm}$$

- **Canto útil:**  $d = 0.4 - 0.04 = 0.36 \text{ m}$

2) Dimensionado (ver problema 1 Tema 9)

No es necesaria a compresión

$$\mu_d = 0.229 \rightarrow \omega_1 = 0.264, U_1 = 666.53 \text{ kN}$$

Se fija en  $5\phi 20$  ( $n\phi$ ) (682.95 kN) como armadura a tracción

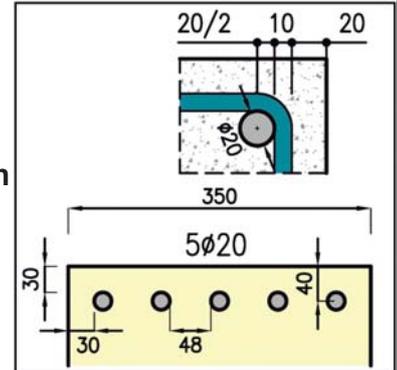
$$s_{\text{libre}} = (350 - 2 \cdot 30 - 5 \cdot 20)/4 = 47.5 \text{ mm} > 20 \text{ mm}$$

3) Distribución de armadura:

- **Básica:**  $2\phi 20$  ( $b\phi$ )
- **Refuerzos:** según necesidades de cada apoyo

4) Cuantía mínima en flexión: 2.8 ‰

$$A_{\min} = 0.0028 \cdot 350 \cdot 400 = 392 \text{ mm}^2 < 2 \cdot 314 \text{ mm}^2 = 628 \text{ mm}^2 (2\phi 20). \text{ Válido}$$



1) CUADRO de flectores resistidos

Armado a tracción	i	$U_{1,i\phi}$ (kN)	$\omega_{0,i\phi} \Rightarrow$	$\mu_{i\phi}$	$M_{u,i\phi}$ kN·m
4 $\phi 20$	4	546.36	0.217	0.193	174.77
3 $\phi 20$	3	409.77	0.163	0.149	134.89
2 $\phi 20$ (básico, $i = b$ )	2	273.18	0.108	0.102	92.34

2) ARMADO EN EL APOYO DERECHO

Se refuerza ( $i\phi$ ) con 3 $\phi 20$  siendo  $M_{\min,i} = 113.12 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_{u,3\phi 20} = 134.89 \text{ kN}\cdot\text{m}$

3) ARMADO A POSITIVOS (cara inferior).

Se dispone ( $j\phi$ ) con 3 $\phi 20$  siendo  $M_{\max} = 125.21 \text{ kg}\cdot\text{m} < M_{u,3\phi 20} = 134.89 \text{ kN}\cdot\text{m}$

4) LONGITUD NECESARIA DE REFUERZO (precisión de  $\pm 0.25 \text{ m}$ )

Tramo dónde existe un flector (a negativos) menor a  $M_{u,2\phi 20} = 92.34 \text{ kNm}$ :

Sección	0.00	0.25	0.50	0.75	1	hasta	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00
$M_{\min}$	-207.7	-159.9	-116.6	-77.10	-41.19	...	18.91	-8.77	-40.00	-74.79	-113.1
Armado	5 $\phi 20$			2 $\phi 20$				3 $\phi 20$			

- **Extremo izquierdo:**  $x' = 0.75 \text{ m}$ ,  $M = 77.10 < 92.34 \text{ kNm}$
- **Extremo derecho:**  $x' = 6 - 5.75 = 0.25 \text{ m}$ ,  $M = 74.79 < 92.34 \text{ kNm}$

**DECALAJE** del diagrama de flectores, que *simplificadamente* es igual al canto útil:

- Extremo izquierdo:  $x_d = 0.75 \text{ m} + 0.36 \text{ m} = 1.11 \text{ m}$
- Extremo derecho:  $x_d = 0.25 \text{ m} + 0.36 \text{ m} = 0.61 \text{ m}$

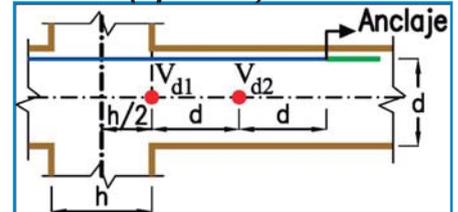
$x_d$  se contabiliza desde el eje de cada apoyo (o pilar) hacia el centro del vano

**CORTANTE:** para *considerar* que todas las barras a tracción **CONTRIBUYEN** a cortante, debe anclarse a una distancia "d" de donde se toma el cortante (*optativo*):

( $V_{d2}$  se toma a "d" del borde del apoyo):

$$(h/2)_{\text{borde apoyo}} + (d)_{V_{d2}} + (d)_{\text{anclaje}} = 0.15 + 2 \cdot 0.36 = 0.87 \text{ m}$$

- Extremo izquierdo:  $1.11 \text{ m} \geq 0.87 \text{ m} \Rightarrow x_c = 1.11 \text{ m}$
- Extremo derecho:  $0.61 \text{ m} < 0.87 \text{ m} \Rightarrow x_c = 0.87 \text{ m}$

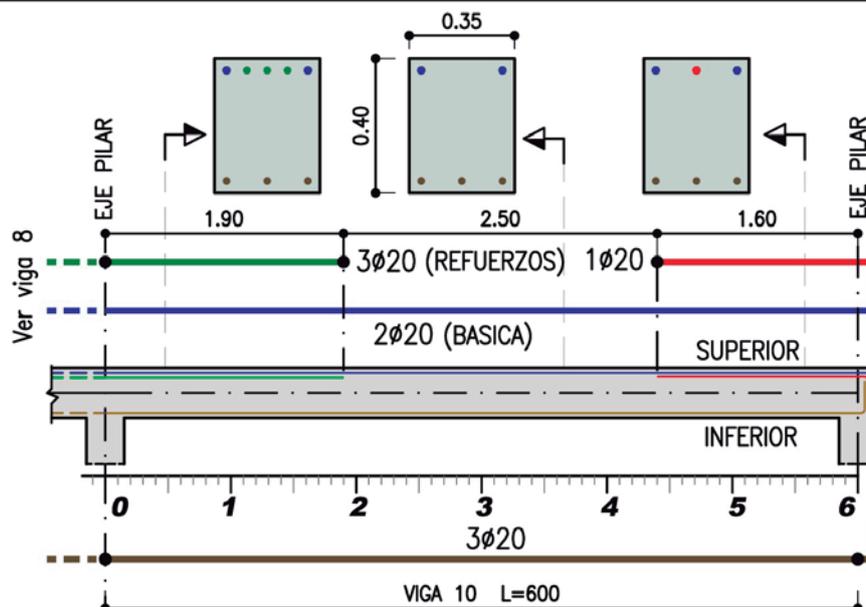


**LONGITUD DE ANCLAJE:** POSICION II (zona superior) en prolongación recta, posición II:

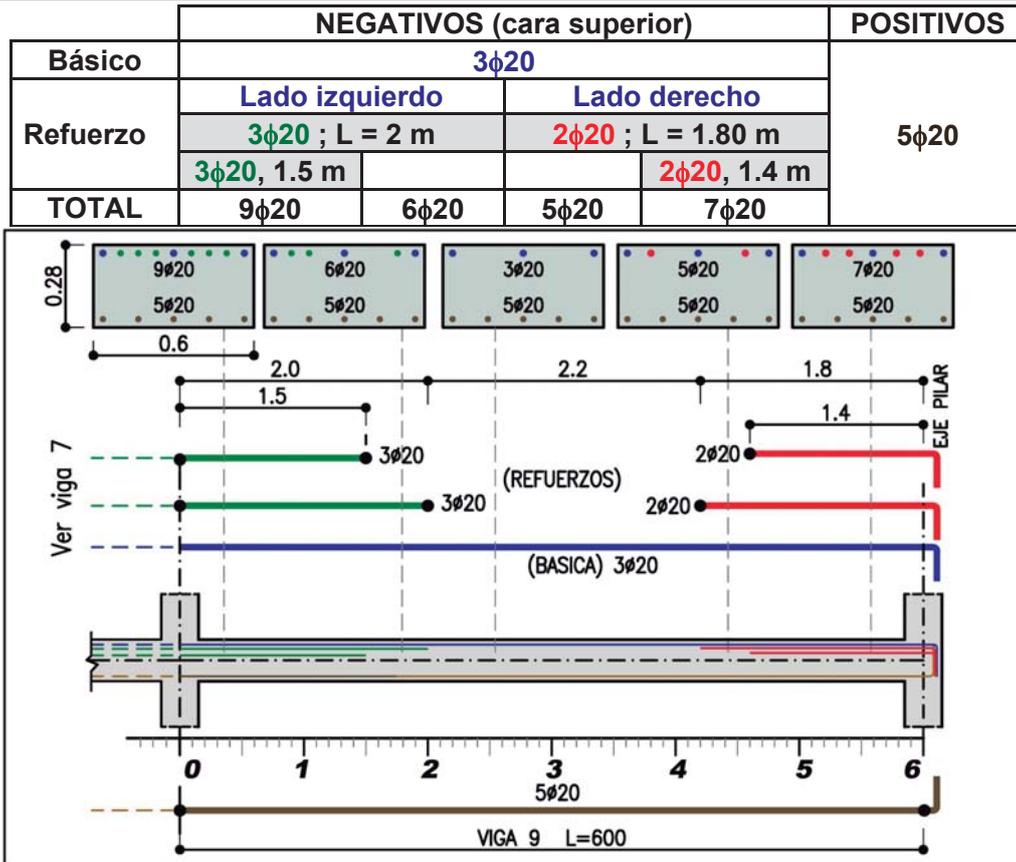
$$L_{b,II} = \text{Mayor} \left( 1.4 \cdot m \cdot \phi^2 = 1.4 \cdot 1.3 \cdot 20^2 = 728 \text{ mm}, \quad \frac{f_{yk}}{14} \cdot \phi = \frac{500}{14} \cdot 20 = 714 \text{ mm} \right)$$

- Extremo izquierdo:  $x_L = 1.11 \text{ m} + 0.73 \text{ m} = 1.84 \text{ m}$ ,  $L_{\text{refuerzo}} = 1.90 \text{ m}$
- Extremo derecho:  $x_L = 0.87 \text{ m} + 0.73 \text{ m} = 1.60 \text{ m}$ ,  $L_{\text{refuerzo}} = 1.60 \text{ m}$

	NEGATIVOS (cara superior)		POSITIVOS (cara inferior)
	Apoyo izquierdo	Apoyo derecho	
Básico	$2\phi 20$		$3\phi 20$
Refuerzo	$3\phi 20$ ; L = 1.90 m	$1\phi 20$ ; L = 1.60 m	
TOTAL	$5\phi 20$	$3\phi 20$	



ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 17 : DIMENSIONADO DE ARMADURAS



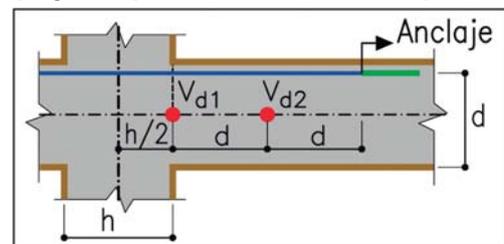
REF. 7

ASUNTO HORMIGON ARMADO (EHE-08). PRÁCTICA  
TEMA TEMA 17 : DIMENSIONADO DE ARMADURAS

- ▶ Se analiza el vano de 6 m (10). Al vano de 5 m se dispone igual armadura (8)
- ▶ Mayores cortantes en el apoyo izquierdo de la viga 10
- ▶ Obtención del cortante máximo entre las combinaciones mediante el programa:
  - Compresión oblicua del alma  $V_{u1}$ , cortante en el **borde del apoyo  $V_{d1}$** :  
 $h_{pilar}/2 = 0.30/2 \Rightarrow 0.15$  m (apoyo izquierdo en este caso)
  - Tracción en el alma  $V_{u2}$ , cortante a un **canto útil del borde del apoyo  $V_{d2}$**   
 $h_{pilar}/2 + d_{viga\ 10} = 0.15 + 0.36 = 0.51$  m (apoyo izquierdo en este caso)

- ▶ Cortantes:

$h/2 + d$	$V_{d2}$	$h/2$	$V_{d1}$
m	kN	m	kN
0.51	168.59	0.15	189.95



- ▶ Compresión oblicua del alma:

$$V_{u1} = 0.30 \cdot 0.35 \cdot 0.36 \cdot 20 \cdot 10^3 = 756 \text{ kN} \geq V_{d1} = 189.95 \text{ kN}$$

- ▶ Contribución del hormigón:

$$V_{cu,5\phi} = 0.10 \cdot 1.745 \cdot (100 \cdot 0.0125 \cdot 30)^{1/3} \cdot 350 \cdot 360 = 73531 \text{ N} = 73.53 \text{ kN}$$

- ▶ Separación entre estribos 2φ8:  $s \leq \frac{0.9 \cdot 0.36 \cdot 40.21 \cdot 10^3}{(168.59 - 73.53)} = 137 \text{ mm}$ ,  $s = 143 \text{ mm}$

- ▶ Comprobar cuantías mínimas de estribos

REF. 8

- Sólo necesario en extremos para obtener N y M al ser su variación lineal
- **NO** usar la combinación envolvente: máximo axil (N) y el máximo flector (M) en extremos (i, j) pero pueden ser de combinaciones distintas. Los esfuerzos deben pertenecer a la **MISMA** combinación
- Peor combinación, No está claro ( $v = N_d/b \cdot h \cdot f_{cd}$ ):
  - ▶  $v \approx \wedge 0.4$ ; 1º condición: mayor flector, 2º condición: menor axil
  - ▶  $v \approx \vee 0.4$ ; 1º condición: mayor flector, 2º condición: mayor axil
- En todos los casos,  $v < 0.4$ , COMB4: **la de M** ↑. Axil similar en todas las comb.

Station	OutputCase	P	M3
0	COMB1	-439.59	29.09
3.4		-427.77	-64.41
0	COMB2	-450.84	61.14
3.4		-439.03	-84.04
0	COMB3	-428.34	-2.95
3.4		-416.52	-44.78
0	COMB4	$N_{d1} = -437.41$	$M_{d2} = 80.21$
3.4		-425.59	$M_{d1} = -92.05$
0	COMB5	-399.91	-26.61
3.4		-388.09	8716

- Dimensionado como el *Problema 1 Tema 14 (conservador)*. Se considera traslacional
- Se recomienda utilizar un programa de dimensionado con un método más ajustado