



HORMIGÓN I (74.01 y 94.01)

**MATERIALES:  
EL HORMIGÓN y EL ACERO**

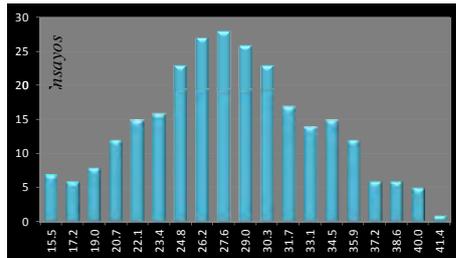
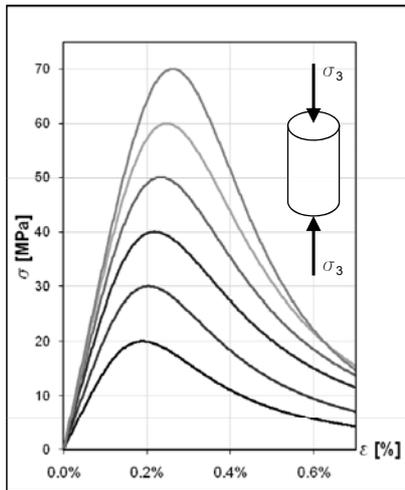


El objetivo de esta clase es repasar el comportamiento de los materiales que componen el hormigón armado (HORMIGÓN + ACERO), enfocando el tema desde el punto de vista estructural, es decir, pensando en cómo incide ese comportamiento en una estructura y presentando algunas hipótesis generalmente aceptadas.



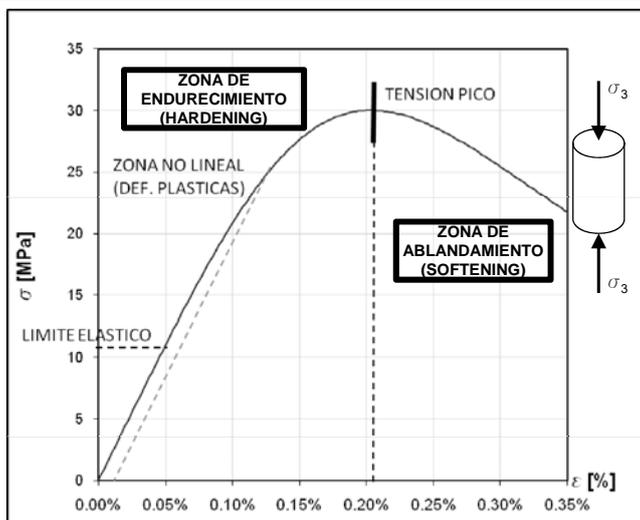
EL HORMIGÓN

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAxIAL

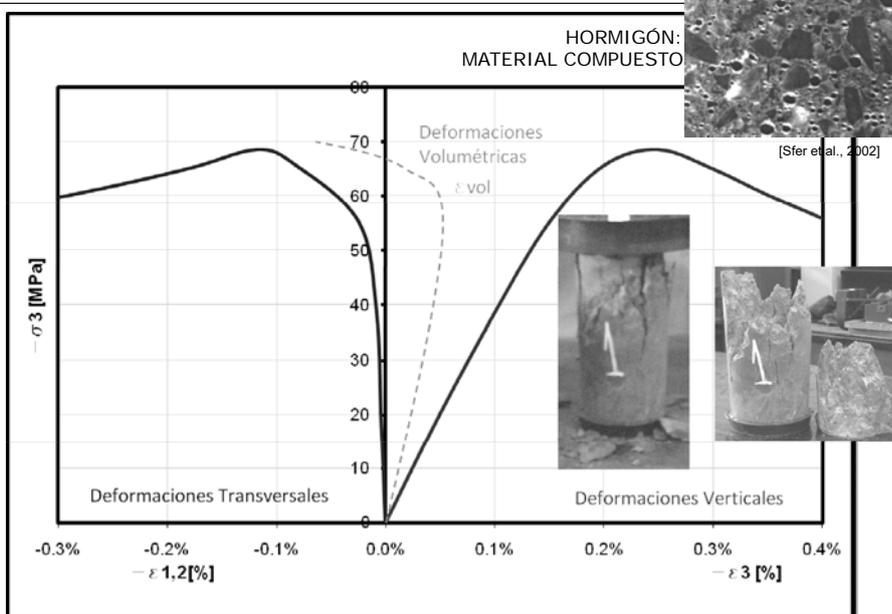


DISPERSIÓN DE RESULTADOS

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAxIAL



EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAxIAL



EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

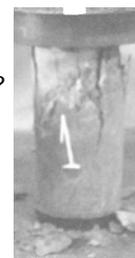
QUÉ SUCEDE SI ENSAYAMOS A 28 DÍAS O A 90 DÍAS?

QUÉ SUCEDE SI UTILIZAMOS OTRAS FORMAS O TAMAÑOS DE PROBETAS?

QUÉ SUCEDE SI CAMBIAMOS EL DISPOSITIVO DE ENSAYO?

O SI CAMBIAMOS LA TEMPERATURA DE ENSAYO...

O SI MANTENEMOS LA CARGA APLICADA....

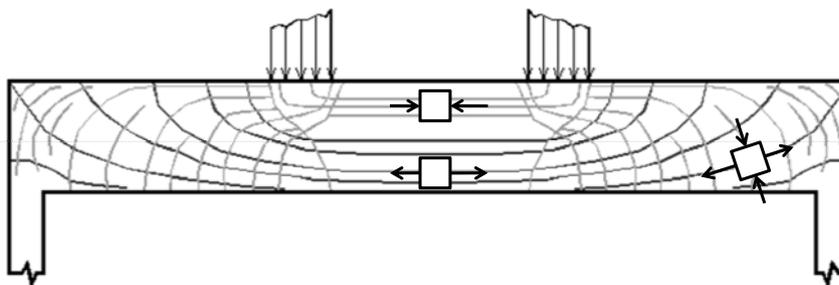


CAMBIA LA CURVA OBTENIDA !!

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 7

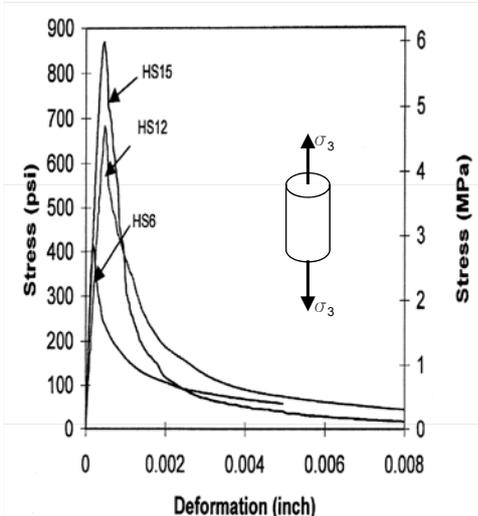
en una estructura:



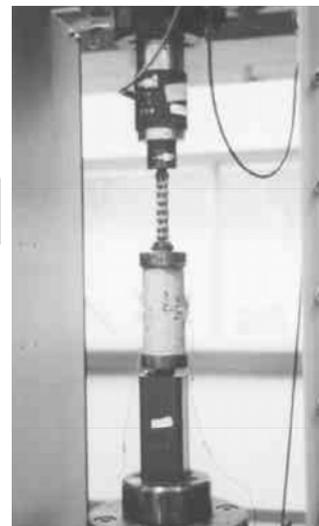
MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 8

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A TRACCIÓN



[ANSARI-LI-2000]

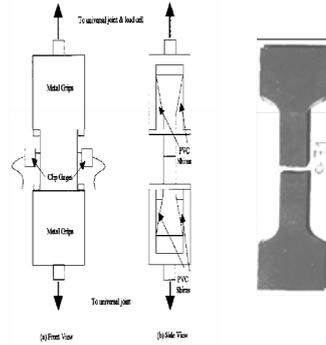
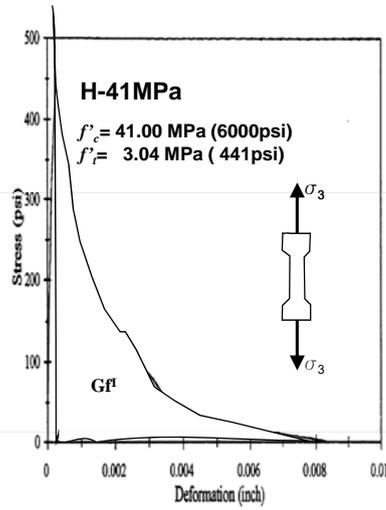


HORMIGÓN: CURVA DE ENSAYO A TRACCIÓN UNIAXIAL

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 9

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A TRACCIÓN



[NAVALURKAR – Phd thesis-1996]

HORMIGÓN: CURVA DE ENSAYO A TRACCIÓN UNIAXIAL

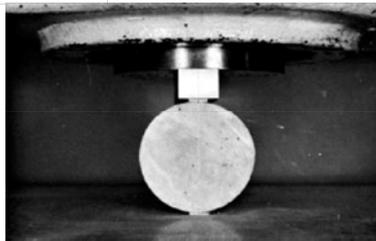
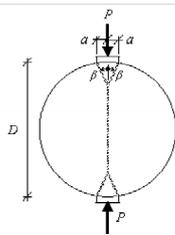
MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 10

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A TRACCIÓN

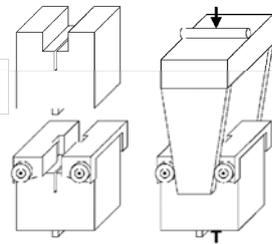
ENSAYOS ALTERNATIVOS PARA EVALUAR LA TRACCIÓN DE MANERA "INDIRECTA":

TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (SPLITTING TEST)



$$f_{ct} = \frac{2.P}{\pi.l.D}$$

ENSAYO DE CUÑA (WEDGE TEST)



[Figuras: Østergaard, 2003]

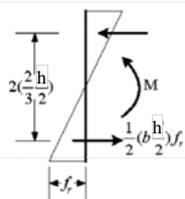
[NORMA ASTM C 496 – 2004]

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

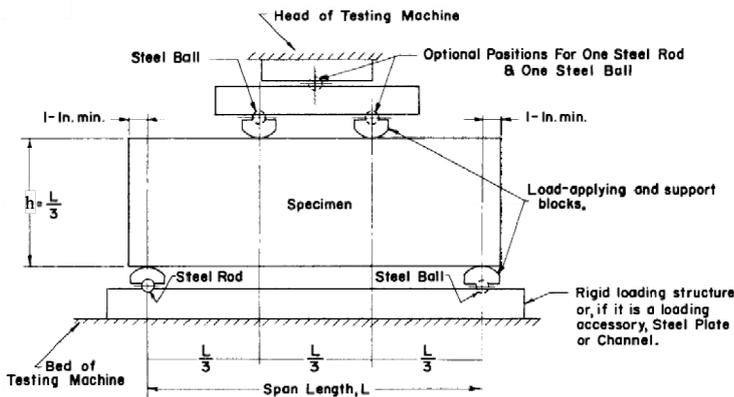
Lámina 11

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN

ENSAYOS ALTERNATIVOS PARA EVALUAR LA TRACCIÓN DE MANERA "INDIRECTA":



$$f_r = \frac{6.M}{b.h^2} > f_t$$

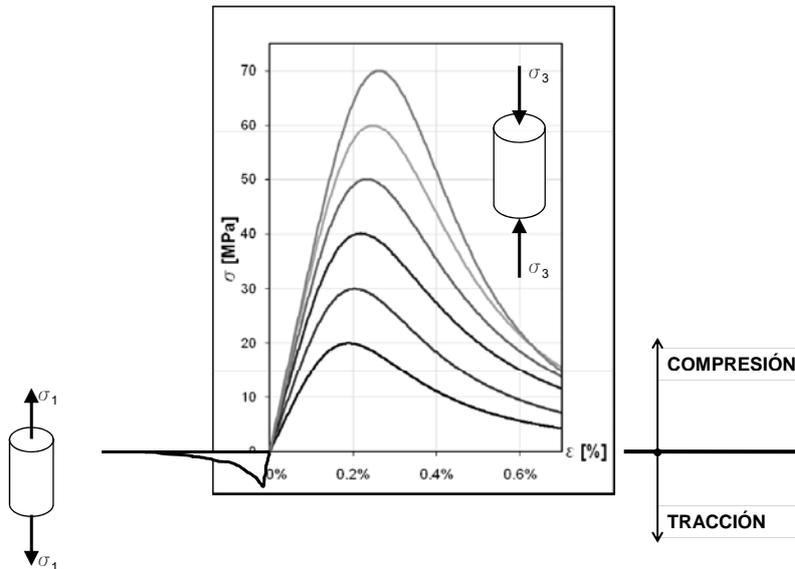


MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 12

EL HORMIGÓN - RESISTENCIA A COMPRESIÓN versus RESISTENCIA A TRACCIÓN

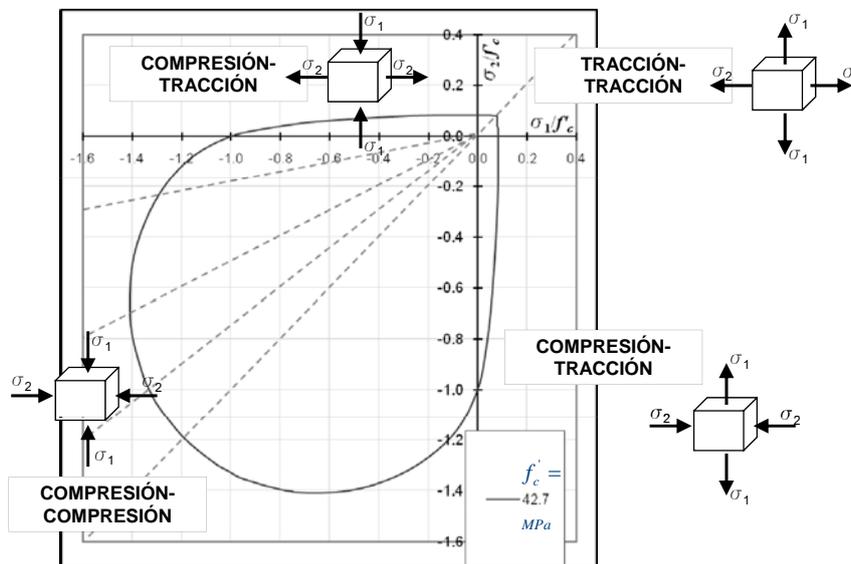
$$f_t \cong 7\% \text{ al } 15\% \text{ de } f_c$$



MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 13

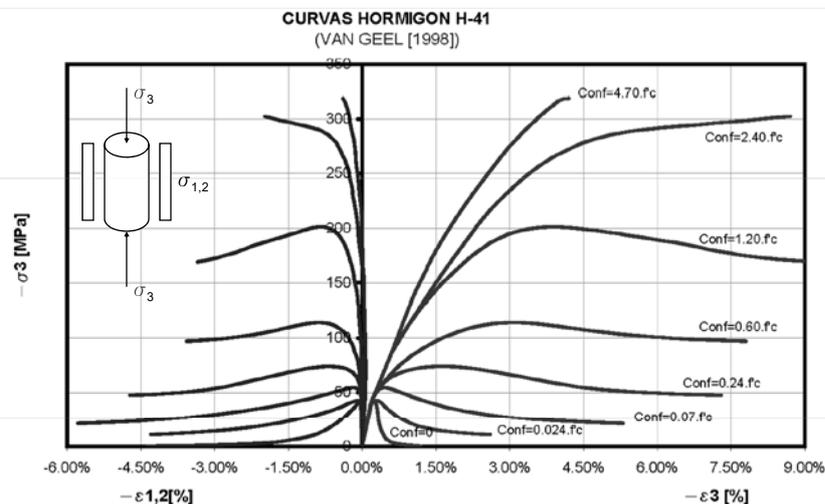
EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA FRENTE A ESTADOS BIAXIALES



MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 14

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA FRENTE A ESTADOS TRIAXIALES



HORMIGÓN: CURVAS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN TRIAXIAL

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 15

EL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN VARÍA CON EL ESTADO DE TENSIONES

PRESENTA DISTINTAS FORMAS DE FALLA

CUASIFRÁGIL



COMPRESIÓN UNIAxIAL  
[LMNI, FIUBA, 2007]

CUASIDÚCTIL



COMPRESIÓN TRIAXIAL  
[Sfer et al., 2002]

FRÁGIL

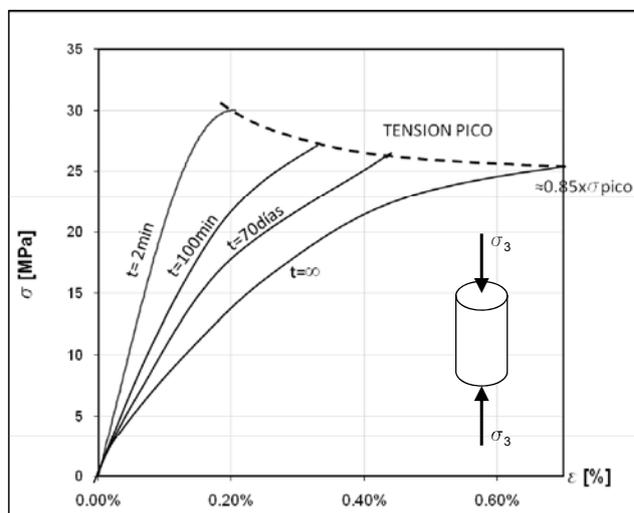


TRACCIÓN UNIAxIAL  
[Reinhardt et al., 1998]

LAS DEFORMACIONES DEL HORMIGÓN

- DEFORMACIONES INDEPENDIENTES DE LAS CARGAS
  - RETRACCIÓN POR SECADO
  - CAMBIOS VOLUMÉTRICOS DEBIDOS A VARIACIÓN DE TEMPERATURA
- DEFORMACIONES DEPENDIENTES DE LAS CARGAS
  - VARIACIONES VOLUMÉTRICAS EN EL TIEMPO
  - DEFORMACIONES ELÁSTICAS
  - DEFORMACIONES PLÁSTICAS
  - FLUENCIA LENTA

EL HORMIGÓN - RESISTENCIA A COMPRESIÓN CARGAS DE LARGA DURACIÓN



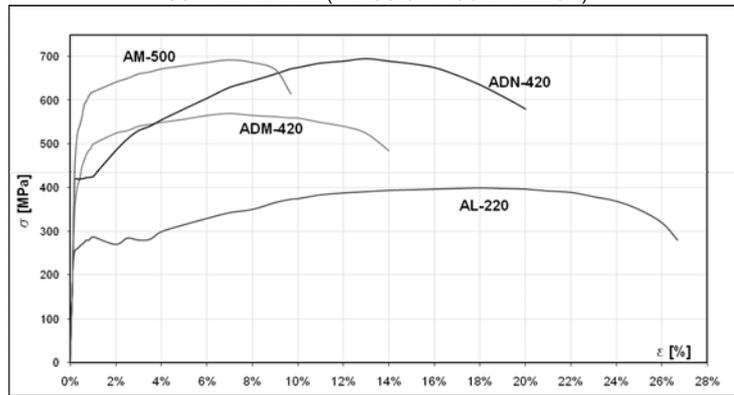
COMPRESIÓN  
CARGA SOSTENIDA

PARA CARGAS DE LARGA DURACION LA RESISTENCIA SE REDUCE APROX. 15% RESPECTO AL VALOR OBTENIDO EN UN ENSAYO NORMAL A COMPRESION.

## LOS ACEROS PARA HORMIGÓN

### LOS ACEROS PARA HORMIGÓN ARMADO

#### CURVAS REALES (TRACCION Y COMPRESION)



**ADN-420:**

Tensión de fluencia característica= 420 MPa  
Resistencia de tracción característica= 500 MPa  
Alargamiento porcentual de rotura característico= 12%  
Diámetros nominales [mm]: 6 – 8 – 10 – 12 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40

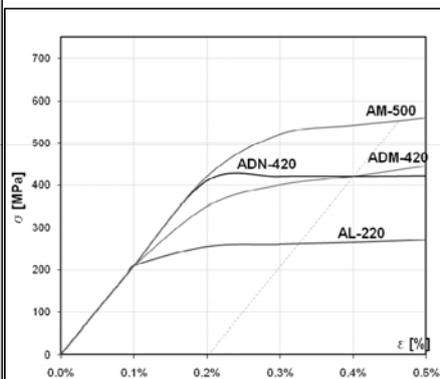


BARRAS ADN-420 (ACINDAR)

BARRAS ADM-420 (SIPAR GERDAU)

### LOS ACEROS PARA HORMIGÓN ARMADO

#### CURVAS REALES



Aceros con tratamiento mecánico: se adopta un límite de fluencia convencional correspondiente al 0.2% de deformación permanente

PARA HORMIGÓN ARMADO  
SÓLO NOS INTERESA UNA  
PEQUEÑA ZONA DE LOS  
DIAGRAMAS DE LOS ACEROS

LOS ACEROS LOS VAMOS A  
CARACTERIZAR POR:

- CALIDAD (LÍMITE DE FLUENCIA, RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, ALARGAMIENTO DE ROTURA)
- SUPERFICIE: BARRAS LISAS O NERVURADAS
- SISTEMA DE FABRICACIÓN (ADN: dureza natural O ADM: dureza mecánica)

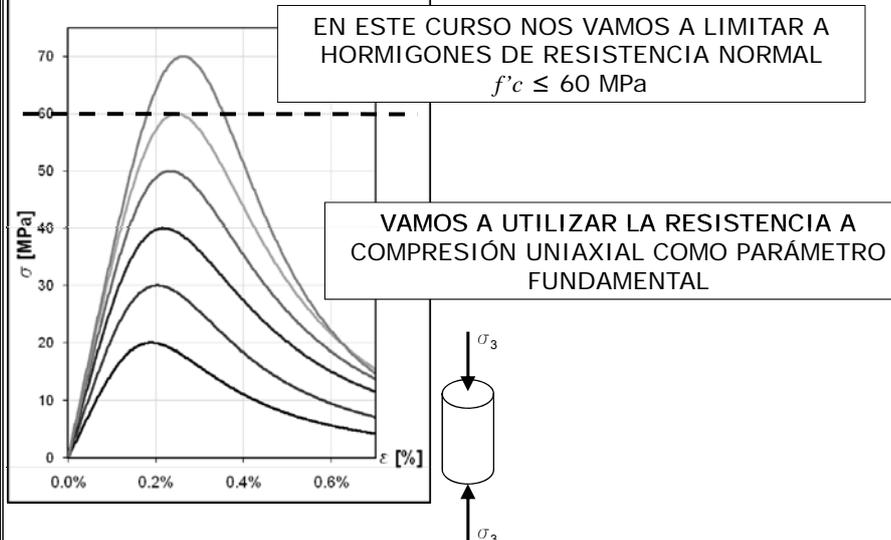
## LAS RELACIONES CONSTITUTIVAS SIMPLIFICADAS

HEMOS VISTO QUE EL HORMIGÓN ES UN MATERIAL COMPLEJO

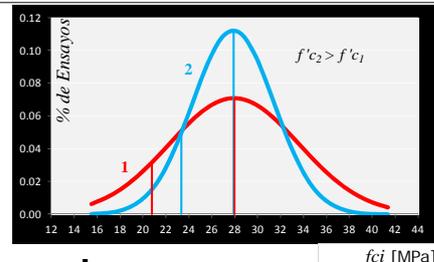
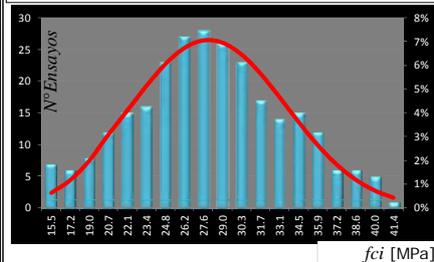
MODELOS SIMPLIFICADOS

MODELOS COMPLEJOS

AÚN HOY ES UN MATERIAL QUE SE INVESTIGA DE MANERA DE PODER PREDECIR CON MÁS EXACTITUD SU COMPORTAMIENTO



CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE LA DISPERSIÓN?



$f'_{ci}$ : Resistencia de un ensayo [MPa];

$n$ : Cantidad de ensayos [---]

$f'_{cm}$ : Resistencia media [MPa]

$$f'_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f'_{ci}}{n}$$

$s_n$ : Desviación estándar [MPa]

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_{ci} - f'_{cm})^2}{n-1}}$$

$\delta$ : Coeficiente de variación [---]

$$\delta = \frac{s_n}{f'_{cm}}$$

DEFINIMOS LA "RESISTENCIA ESPECIFICADA O RESISTENCIA CARACTERÍSTICA de ROTURA A COMPRESIÓN"

$$f'_c = f'_{cm} - 1.28 s_n$$

Es la resistencia cuyo valor tiene la probabilidad de ser superado por un determinado % de resultados de ensayo. CIRSOC actual: 90%

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 25

- PARA EL DISEÑO, SE DEBE SELECCIONAR UNA CALIDAD DE HORMIGÓN.  
- PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS EXISTENTES SE DEBE DETERMINAR LA CALIDAD DEL HORMIGÓN.

TIPOS DE RESISTENCIA

H-13
H-17
H-21
H-30
H-38
H-47

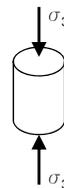
Ej. H-21 →  
 $\sigma'_{bk} = 21 \text{ MPa}$

CIRSOC 1982

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión $f'_c$ (MPa)	A utilizar en hormigones
H-15	15	simple
H-20	20	simple y armados
H-25	25	Simple, armados y pretensados
H-30	30	
H-35	35	
H-40	40	
H-45	45	
H-50	50	
H-60	60	

CIRSOC 2005 (ACI) EN VIGENCIA

Ej. H-25 →  
 $f'_c = 25 \text{ MPa}$



MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 26

Tabla 9.6.3. Valor mínimo de  $f'_c$  a especificar en el proyecto estructural en función de las condiciones de exposición. (Ver la Tabla 2.5.)

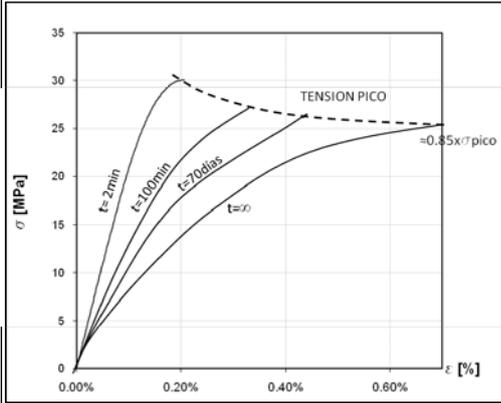
Clases de exposición (Tablas 2.1. y 2.2.)	Medio ambiente en contacto con la estructura	$f'_{c, min}$ (MPa)	
		hormigón armado	hormigón pretensado
A1	• Interiores de edificios no sometidos a condensaciones	20	20
	• Exteriores de edificios, revestidos. Hormigón masivo interior		
A2	• Ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm	25	30
	• Ambientes húmedos o muy húmedos (HR ≥ 85 % o con condensaciones) y temperatura moderada a fría, sin congelación		
A3	• Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 800 mm	30	35
M1	• Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos	30	35
Q1	• Climas tropical y subtropical (precipitación media anual ≥ 1000 mm y temperatura media mensual durante más de 6 meses al año ≥ 25 °C).	30	35
	• Ambiente marino, a más de 1 km de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales (*).		
C1	• Ambientes con agresividad química moderada	30	30
	• Congelación y deshielo sin uso de sales descongelantes.		
C2	• Congelación y deshielo con uso de sales descongelantes.	35	35
CL	• Superficies de hormigón expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros. Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagues industriales.	35	40
	• Ambiente marino; a menos de 1 km de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales; sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas.		
M2	• Ambientes con agresividad química fuerte.	40	45
	• Ambiente marino, en la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar.		
Q2	• Ambientes con agresividad química muy fuerte.	40	45
M3	• Ambientes con agresividad química muy fuerte.	40	45

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 27

CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA PARA CARGAS DE LARGA DURACIÓN?

REDUCIMOS LA "RESISTENCIA CARACTERÍSTICA" ENTRE UN 15% A UN 20%



PARA CARGAS DE LARGA DURACION LA RESISTENCIA SE REDUCE APROX. 15% RESPECTO AL VALOR OBTENIDO EN UN ENSAYO NORMAL A COMPRESION.

SE DEFINE

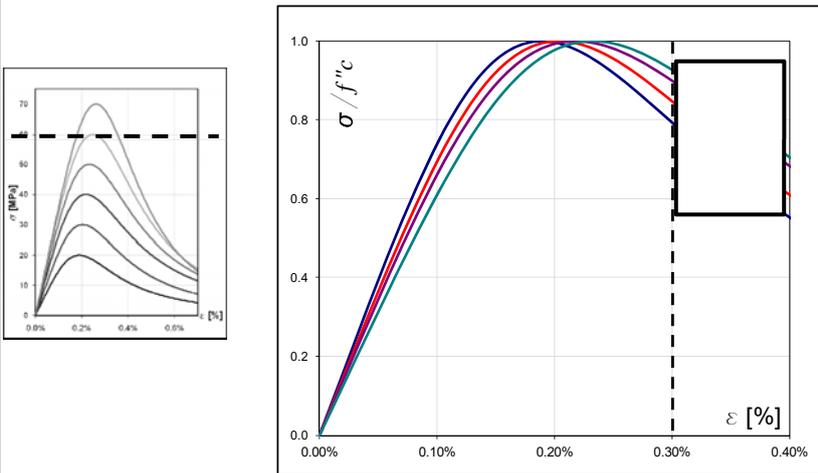
$$f''_c = k_3 \cdot f'_c < f'_c$$

$$k_3 \cong 0.85$$

CIRSOC 1982 (DIN)  $\beta_r < \sigma'_{bk}$   
s/calidad del hormigón

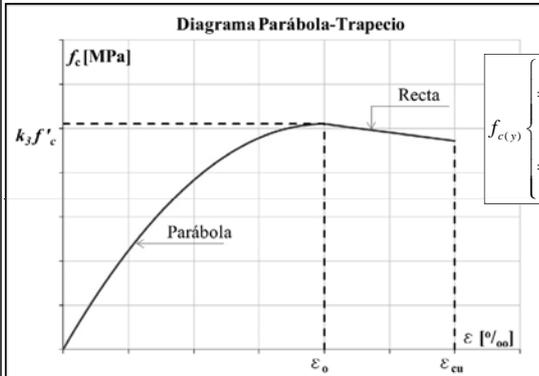
CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE DESCONOCER LA CURVA EXACTA?

TRABAJAMOS CON CURVAS SIMPLIFICADAS



HORMIGON: CURVAS NORMALIZADAS DE ENSAYO A COMPRESION UNIAIXIAL A VELOCIDAD DE DEFORMACION CONSTANTE (HORMIGONES DE RESISTENCIA NORMAL  $f'_c \leq 60$  MPa)

H° - LEYES CONSTITUTIVAS CONVENCIONALES: CIRSOC 201-2005



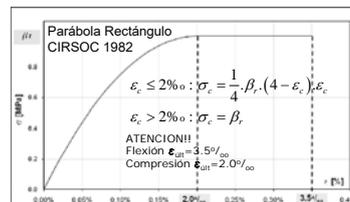
$$f_{c(y)} = \begin{cases} = k_3 f'_c \left[ 2 \frac{\epsilon_{c(y)}}{\epsilon_0} - \left( \frac{\epsilon_{c(y)}}{\epsilon_0} \right)^2 \right] & \text{para: } \epsilon_{c(y)} \leq \epsilon_0 \\ = k_3 f'_c \left[ 1 - k_0 \left( \frac{\epsilon_{c(y)} - \epsilon_0}{\epsilon_0} \right) \right] & \text{para: } \epsilon_{c(y)} > \epsilon_0 \end{cases}$$

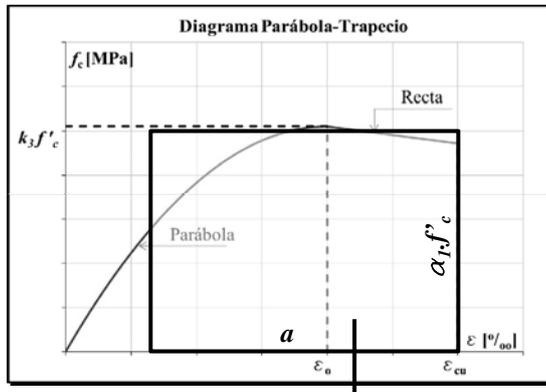
(deformaciones en valor absoluto)

$$k_3 \cong 0.85$$

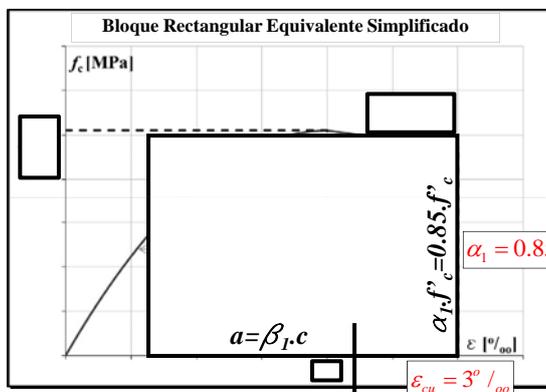
$$k_0 \cong 0.15$$

10.2.6. La relación entre la tensión de compresión en el hormigón y la deformación específica del hormigón, se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica, o de cualquier otra forma que dé origen a una predicción de la resistencia que coincida en forma sustancial con los resultados de ensayos.





BLOQUE RECTANGULAR EQUIVALENTE PARA LAS TENSIONES DE COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN



Atención:  $\alpha_1$  no es  $k_3$

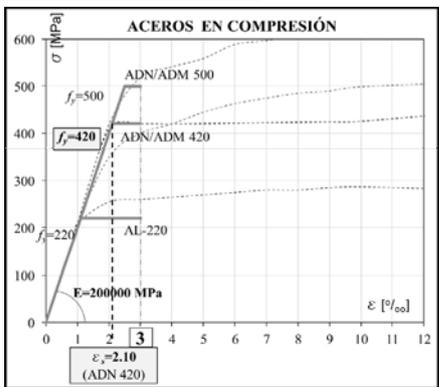
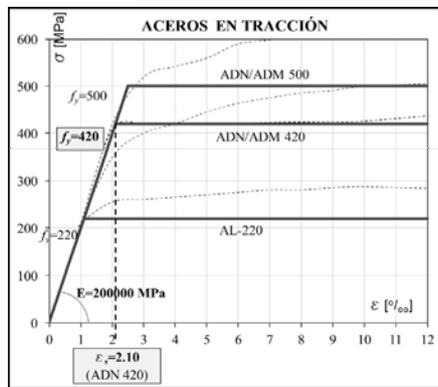
$c$ : profundidad del eje neutro

$$\beta_1 = \begin{cases} = 0.85 & \text{para } f'_c \leq 30 \text{ MPa} \\ = 0.85 - 0.05 \frac{(f'_c - 30)}{7} & \text{para } 30 \text{ MPa} < f'_c \leq 58 \text{ MPa} \\ = 0.65 & \text{para } f'_c > 58 \text{ MPa} \end{cases}$$

BLOQUE RECTANGULAR EQUIVALENTE SIMPLIFICADO PARA LAS TENSIONES DE COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN

CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE DESCONOCER LA CURVA EXACTA?

TRABAJAMOS CON CURVAS SIMPLIFICADAS



$E_s = 200000 \text{ MPa}$  Módulo de elasticidad para todos los aceros  
 $\epsilon_y = 2.1\text{‰}$  Deformación de fluencia para un acero ADN 420

## EL HORMIGÓN ARMADO

EL FUNCIONAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO SE BASA EN:

QUE EXISTE ADHERENCIA  
ENTRE EL HORMIGÓN Y EL ACERO  
(SE IGUALAN SUS DEFORMACIONES)

QUE EL HORMIGÓN Y EL ACERO TIENEN  
COEFICIENTES DE DILATACIÓN TÉRMICA  
SIMILARES

EL HORMIGÓN BRINDA  
PROTECCIÓN A LA ARMADURA

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 34

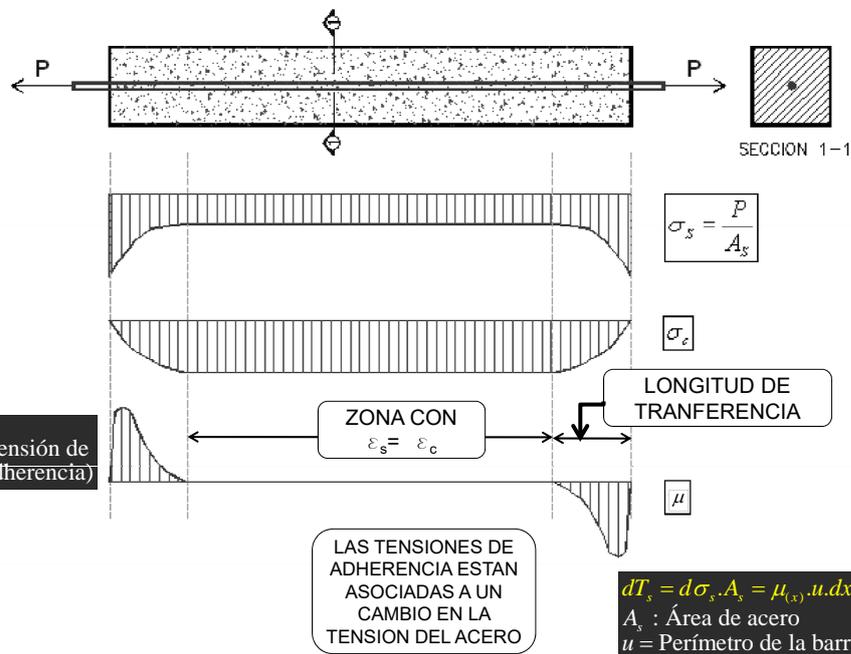
## LA ADHERENCIA:

ES LA UNIÓN RESISTENTE AL  
RESBALAMIENTO ENTRE EL ACERO Y EL  
HORMIGÓN

ASEGURA QUE LAS BARRAS DE ACERO  
EXPERIMENTEN LAS MISMAS  
DEFORMACIONES ESPECÍFICAS  $\varepsilon$  QUE  
LAS FIBRAS VECINAS DE HORMIGÓN

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

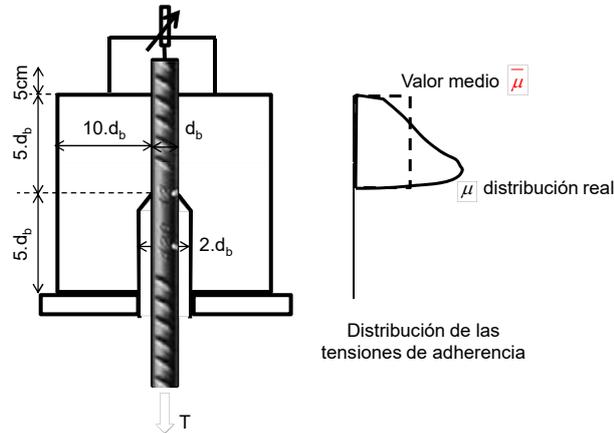
Lámina 35



MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 36

EL ENSAYO DE ARRANCAMIENTO:



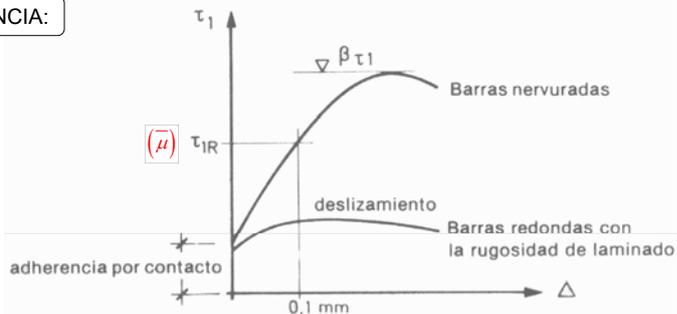
Layout de ensayo de arrancamiento (pull-out) según recomendación Rilem

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 37

TIPOS DE ADHERENCIA:

Figura 4.10  
LEONHARDT, Tomo I  
(nomenclatura eurocódigos)



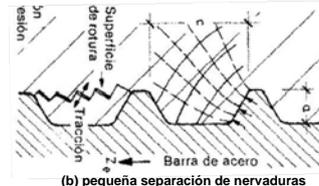
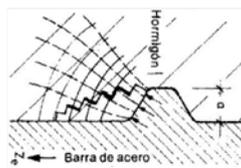
$$H = \mu_{fricc} \cdot N$$

$$\mu_{fricc} = 0.30 \text{ a } 0.60$$

Figura 4.7  
LEONHARDT, Tomo I

— Trayectorias de tracción  
 - - - Trayectorias de compresión

- **POR CONTACTO:** ACERO/MORTERO (Rugosidad, limpieza de las barras)
- **POR ROZAMIENTO:** un desplazamiento relativo entre el acero y el hormigón, da origen a una resistencia por rozamiento, siempre que existan presiones normales a la armadura. ( $H = \mu_{fricc} \cdot N$ )
- **POR CORTE:** Endentado que actúa como ménsulas



MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

Lámina 38

FACTORES QUE INCIDEN SOBRE LA ADHERENCIA:

- CALIDAD DEL HORMIGÓN
- PERFILADO DE LA SUPERFICIE DE LAS BARRAS
- LA POSICIÓN DE LA BARRA AL HORMIGONAR
- UBICACIÓN DE LA BARRA AL HORMIGONAR



FIN -  
MATERIALES:  
EL HORMIGÓN y EL ACERO

GRACIAS POR SU ATENCIÓN !!!