HORMIGÓN I (74.01 y 94.01)

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

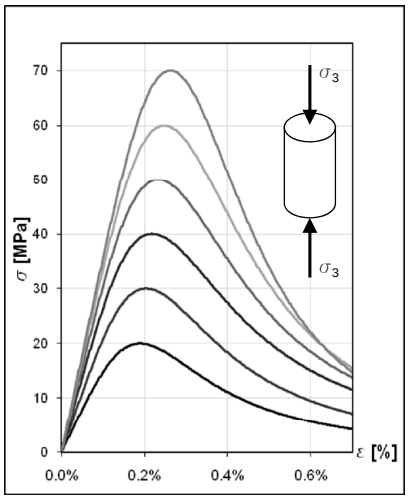
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

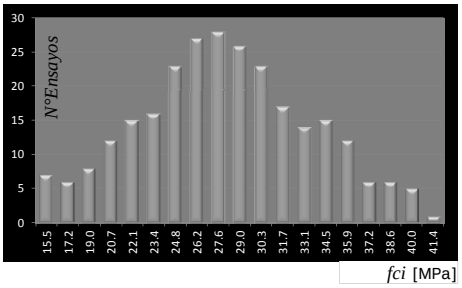
El objetivo de esta clase es repasar el comportamiento de los materiales que componen el hormigón armado (HORMIGÓN + ACERO), enfocando el tema desde el punto de vista estructural, es decir, pensando en cómo incide ese comportamiento en una estructura y presentando algunas hipótesis generalmente aceptadas.

EL HORMIGÓN

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL



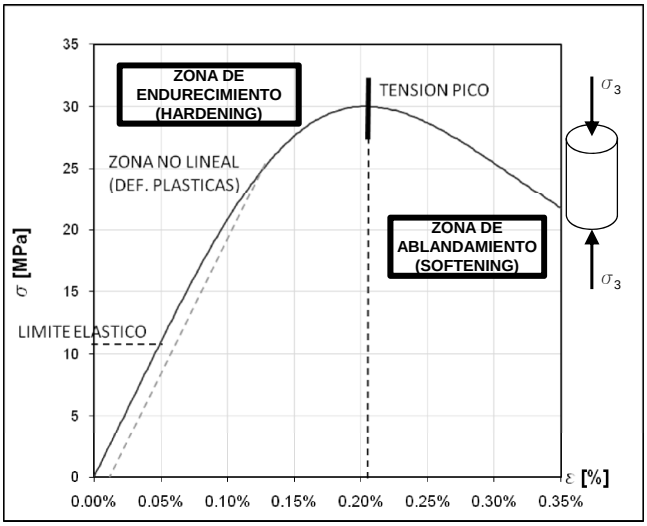


DISPERSIÓN DE RESULTADOS

MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

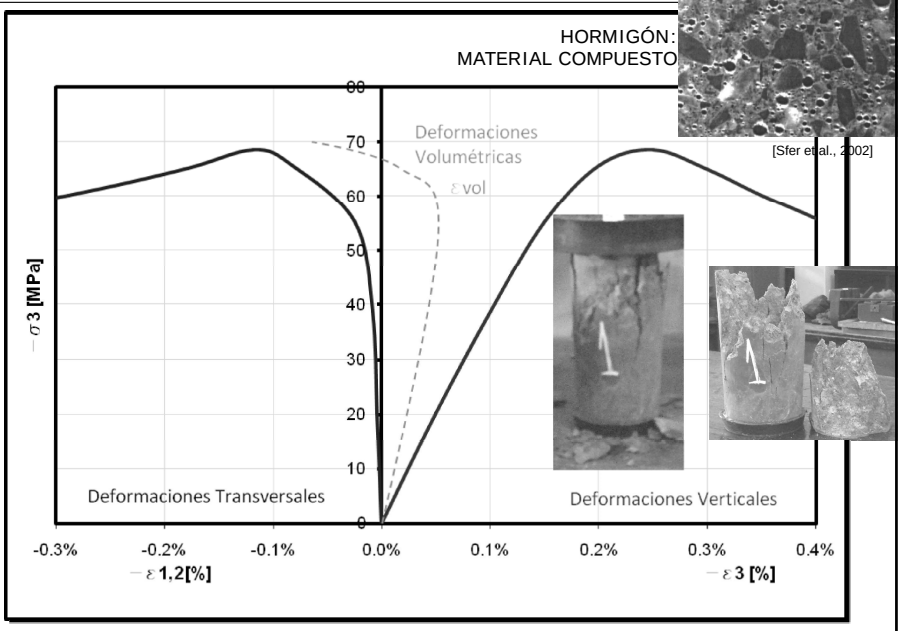
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL



EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

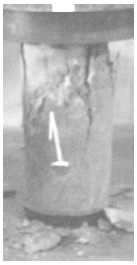
QUÉ SUCEDE SI ENSAYAMOS A 28 DÍAS O A 90 DÍAS?

QUÉ SUCEDE SI UTILIZAMOS OTRAS FORMAS O TAMAÑOS DE PROBETAS?

QUÉ SUCEDE SI CAMBIAMOS EL DISPOSITIVO DE ENSAYO?

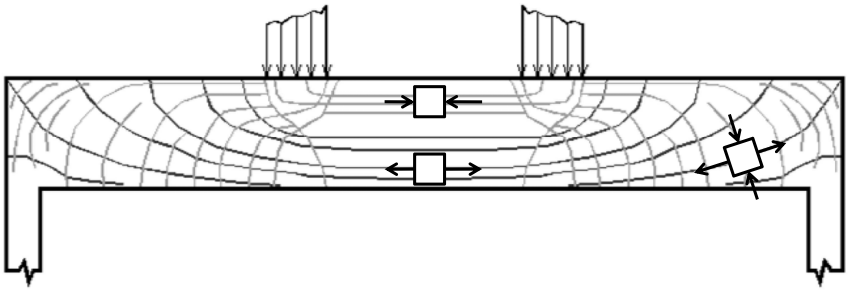
O SI CAMBIAMOS LA TEMPERATURA DE ENSAYO...

O SI MANTENEMOS LA CARGA APLICADA....



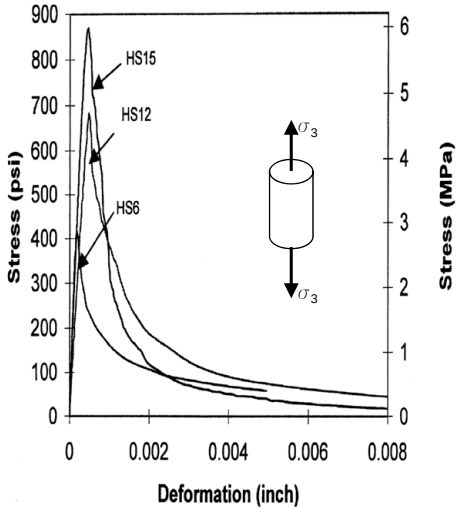
CAMBIA LA CURVA OBTENIDA !!

en una estructura:



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A TRACCIÓN



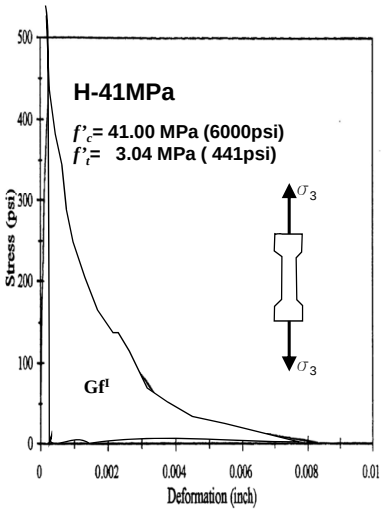
f_t

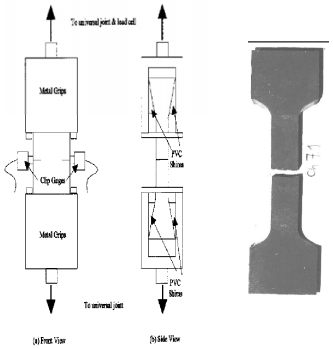
[ANSARI-LI-2000]

HORMIGÓN: CURVA DE ENSAYO A TRACCIÓN UNIAXIAL

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A TRACCIÓN





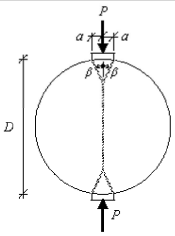
[NAVALURKAR – Phd thesis-1996]

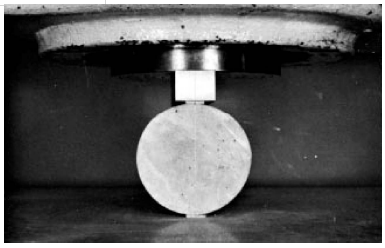
HORMIGÓN: CURVA DE ENSAYO A TRACCIÓN UNIAXIAL

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A TRACCIÓN

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

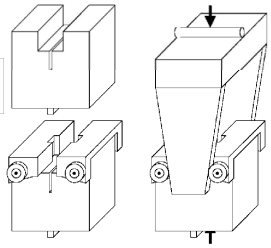
TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL
(SPLITTING TEST)





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

ENSAYO DE CUÑA
(WEDGE TEST)



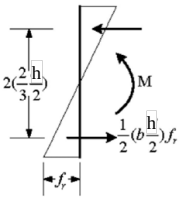
[Figuras: Østergaard, 2003]

[NORMA ASTM C 496 – 2004]

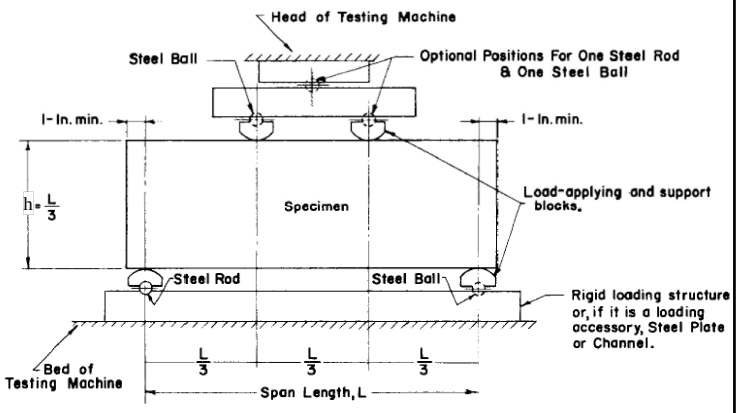
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN

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



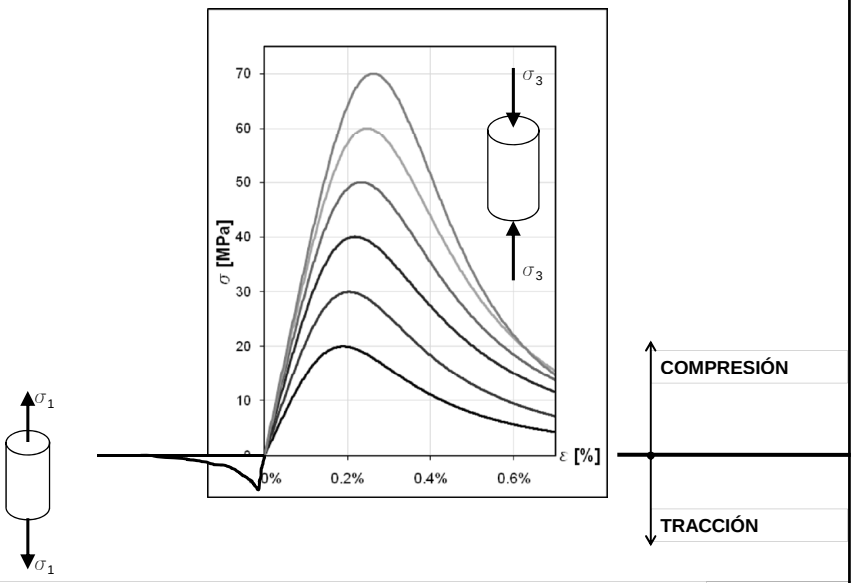
$$f_r = \frac{6.M}{b.h^2} \quad > \quad f_t$$



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

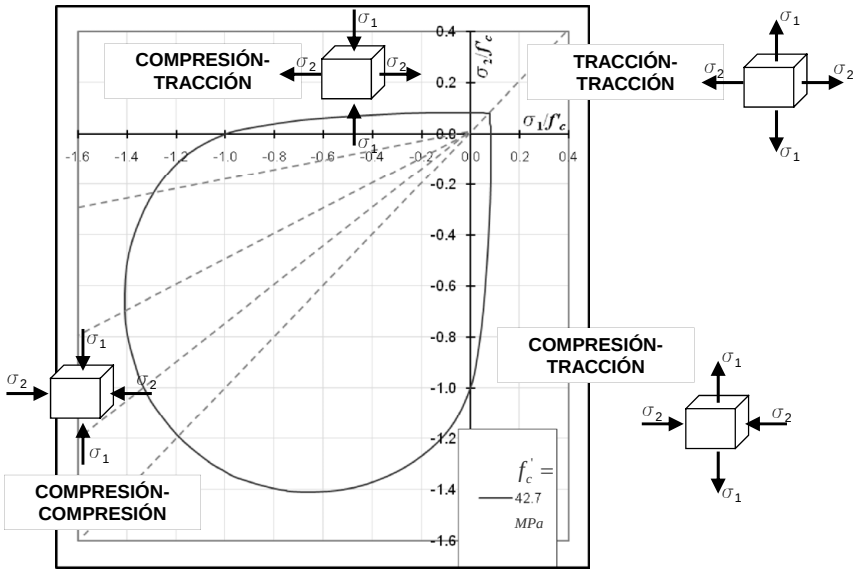
EL HORMIGÓN - RESISTENCIA A COMPRESIÓN versus RESISTENCIA A TRACCIÓN

$f_t \cong$ 7% al 15% de f_c



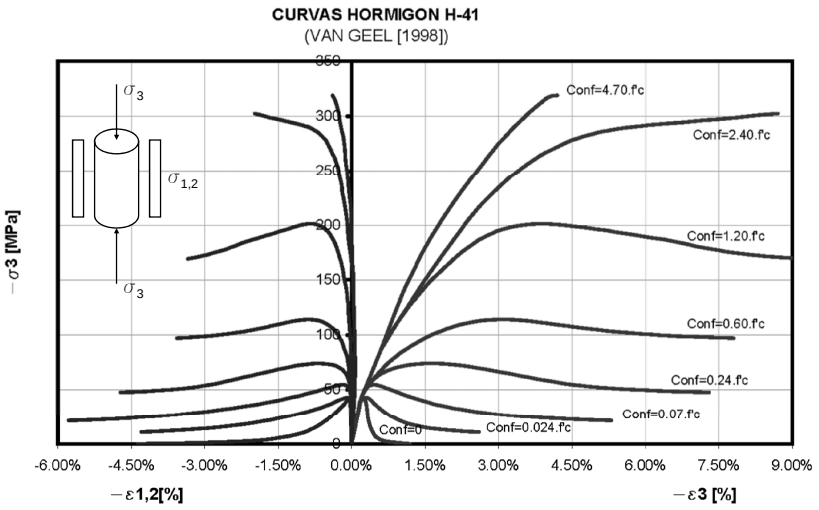
FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA FRENTE A ESTADOS BIAXIALES



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN Y LA RESISTENCIA FRENTE A ESTADOS TRIAXIALES



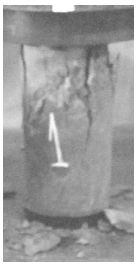
HORMIGON: CURVAS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN TRIAXIAL

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

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

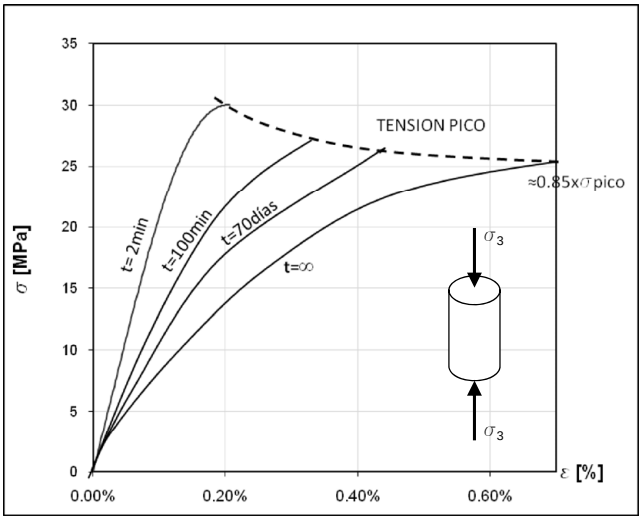
TRACCIÓN UNIAXIAL
[Reinhardt et al., 1998]

LAS DEFORMACIONES DEL HORMIGÓN

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

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EL HORMIGÓN - RESISTENCIA A COMPRESIÓN CARGAS DE LARGA DURACIÓN



COMPRESIÓN

CARGA SOSTENIDA

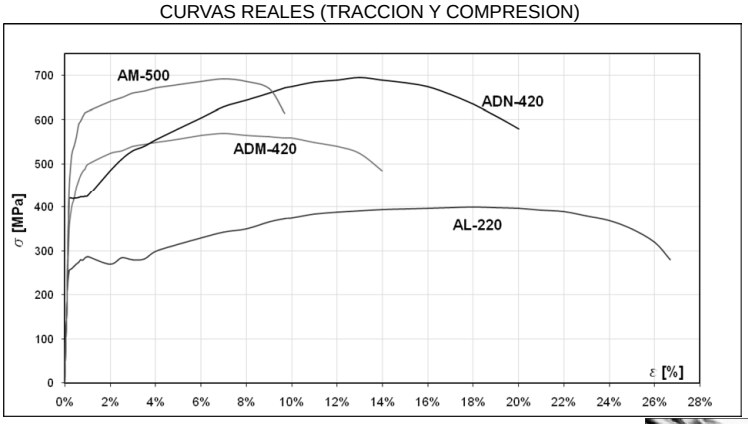
PARA CARGAS DE LARGA DURACION LA RESISTENCIA SE REDUCE APROX. 15% RESPECTO AL VALOR OBTENIDO EN UN ENSAYO NORMAL A COMPRESION.

LOS ACEROS PARA HORMIGÓN

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

LOS ACEROS PARA HORMIGÓN ARMADO

CURVAS REALES (TRACCION Y COMPRESION)



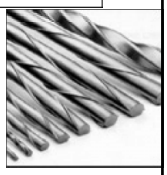
ADN-420:

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

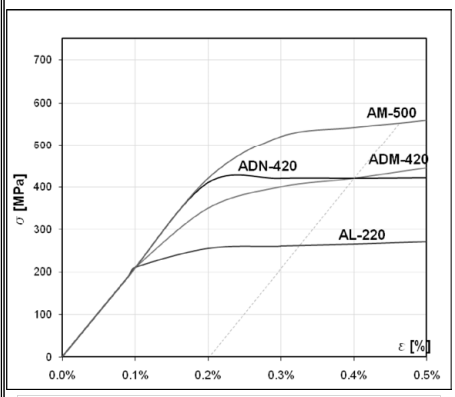


BARRAS ADN-420 (ACINDAR)

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

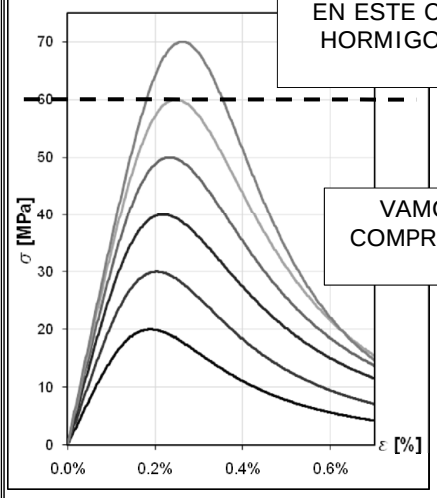
MODELOS SIMPLIFICADOS

MODELOS COMPLEJOS

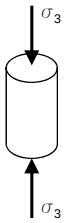
AÚN HOY ES UN MATERIAL
QUE SE INVESTIGA
DE MANERA DE PODER PREDECIR CON MÁS EXACTITUD SU COMPORTAMIENTO

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

EN ESTE CURSO NOS VAMOS A LIMITAR A HORMIGONES DE RESISTENCIA NORMAL
$f'c \leq 60$ MPa

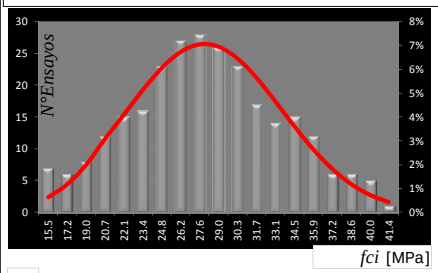


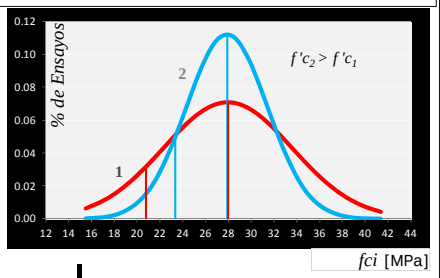
VAMOS A UTILIZAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL COMO PARÁMETRO FUNDAMENTAL



MATERIALES: EL HORMIGÓN y EL ACERO

CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE LA DISPERSIÓN?





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

n : Cantidad de ensayos [---]

f'_{cm} : Resistencia media [MPa] $\quad f'_{cm} = \dfrac{\sum_1^n f'_{ci}}{n}$

s_n : Desviación estándar [MPa] $\quad s_n = \sqrt{\dfrac{\sum_1^n \left[\left(f'_{ci} - f'_{cm}\right)^2\right]}{n-1}}$

δ : Coeficiente de variación [---] $\quad \delta = \dfrac{s_n}{f'_{cm}}$

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%

- 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 → σ'_{bk} = 21MPa~~

~~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 2002 (ACI) EN VIGENCIA

Ej. H-25 → $f'c$ = 25MPa

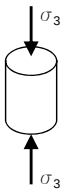
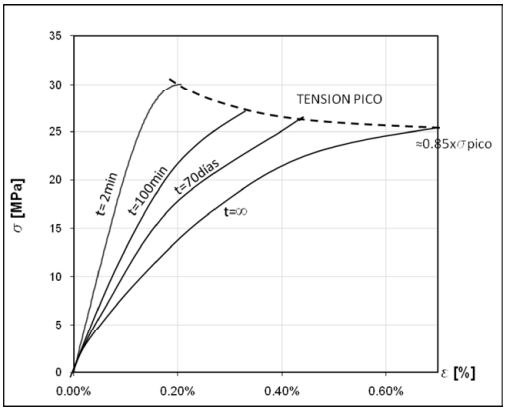


Tabla 9.6.3. Valor mínimo de f'_c a especificar en el proyecto estructural en función de las condiciones de exposición. (Ver la Tabla 2.5.)

Clases de exposición (Tablas 2.1. y 2.2.)	Medio ambiente en contacto con la estructura	$f'_{c\,min}$ (MPa) hormigón armado	$f'_{c\,min}$ (MPa) hormigón pretensado
A1	• Interiores de edificios no sometidos a condensaciones • Exteriores de edificios, revestidos. Hormigón masivo interior • Ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm	20	20
A2	• Ambientes húmedos o muy húmedos (HR ≥ 65 % o con condensaciones) y temperatura moderada a fría, sin congelación • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 600 mm • Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos	25	30
A3 M1 Q1	• Climas tropical y subtropical (precipitación media anual ≥ 1000 mm y temperatura media mensual durante más de 6 meses al año ≥ 25 °C). • Ambiente marino, a más de 1 km de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales (*). • Ambientes con agresividad química moderada	30	35
C1	• Congelación y deshielo sin uso de sales descongelantes	30	30
C2	• Congelación y deshielo con uso de sales descongelantes.	35	35
CL M2 Q2	• Superficies de hormigón expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros. Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales. • 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. • Ambientes con agresividad química fuerte.	35	40
M3 Q3	• Ambiente marino, en la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar • Ambientes con agresividad química muy fuerte.	40	45

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

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

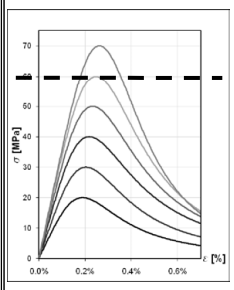
$$k_3 \cong 0.85$$

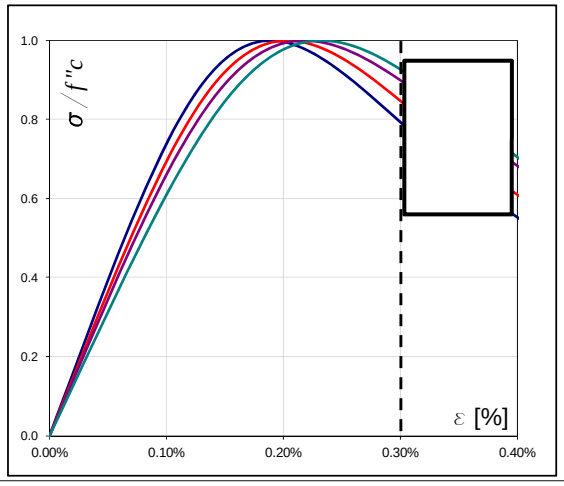
CIRSOC 1982 (DIN) s/calidad del hormigón $\beta_r < \sigma'_{bk}$

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE DESCONOCER LA CURVA EXACTA?

TRABAJAMOS CON CURVAS SIMPLIFICADAS

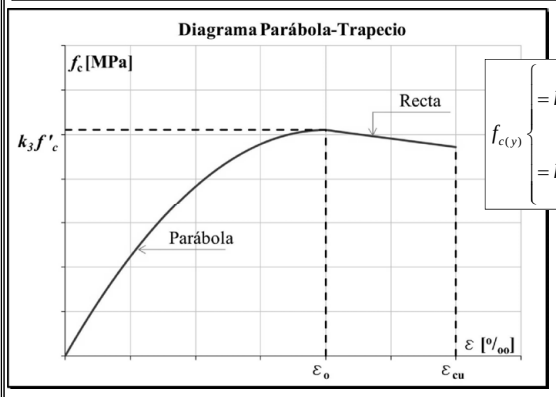




HORMIGON: CURVAS NORMALIZADAS DE ENSAYO A COMPRESION UNIAXIAL A VELOCIDAD DE DEFORMACION CONSTANTE (HORMIGONES DE RESISTENCIA NORMAL $f'c \leq 60$ MPa)

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

H°- LEYES CONSTITUTIVAS CONVENCIONALES: CIRSOC 201-2005

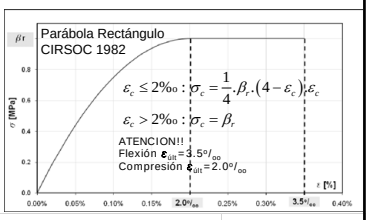


$$f_{c(y)} \begin{cases} = k_3\, f_c^{'} \left[2\dfrac{\varepsilon_{c(y)}}{\varepsilon_o} - \left(\dfrac{\varepsilon_{c(y)}}{\varepsilon_o} \right)^2 \right] & \text{para: } \varepsilon_{c(y)} \leq \varepsilon_o \\ = k_3\, f_c^{'} \left[1 - k_o \left(\dfrac{\varepsilon_{c(y)} - \varepsilon_o}{\varepsilon_o} \right) \right] & \text{para: } \varepsilon_{c(y)} > \varepsilon_o \end{cases}$$

(deformaciones en valor absoluto)

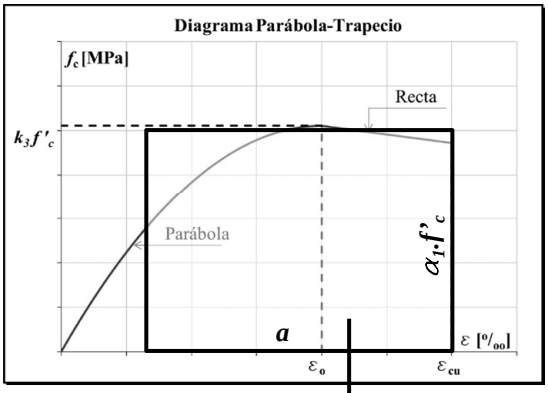
$$k_3 \cong 0.85$$
$$k_o \cong 0.15$$

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.*



FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

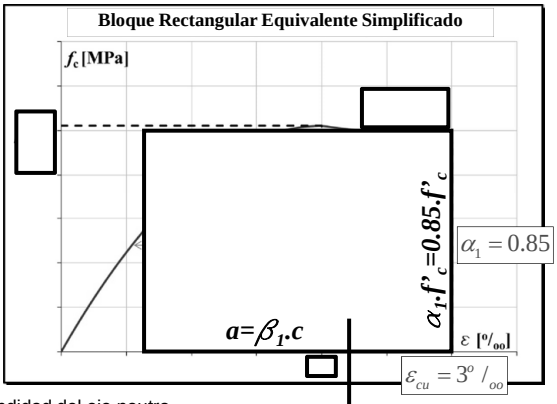
H°- LEYES CONSTITUTIVAS CONVENCIONALES: CIRSOC 201-2005



BLOQUE RECTANGULAR EQUIVALENTE
PARA LAS TENSIONES DE COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

H°- LEYES CONSTITUTIVAS CONVENCIONALES: CIRSOC 201-2005



$\alpha_1 = 0.85$

Atención:
α_1 no es k_3

c: profundidad del eje neutro

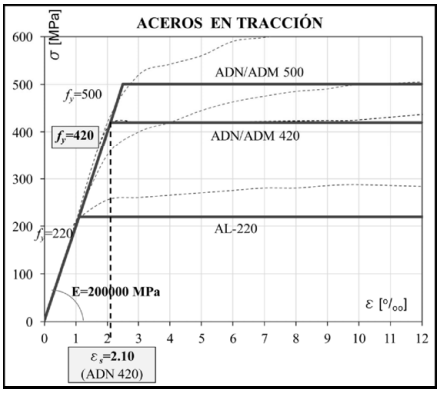
$$\beta_1 \begin{cases} = 0.85 & para \;\; f_c^{'} \leq 30MPa \\ = 0.85 - 0.05\dfrac{\left(f_c^{'} - 30\right)}{7} & para \;\; 30MPa < f_c^{'} \leq 65MPa \\ = 0.65 & para \;\; f_c^{'} > 65MPa \end{cases}$$

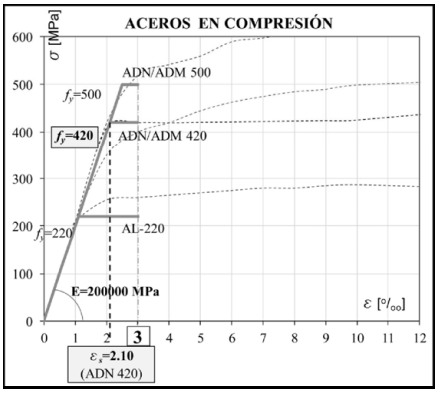
BLOQUE RECTANGULAR EQUIVALENTE SIMPLIFICADO
PARA LAS TENSIONES DE COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

CÓMO TRATAMOS EL PROBLEMA DE DESCONOCER LA CURVA EXACTA?

TRABAJAMOS CON CURVAS SIMPLIFICADAS





$$E = 200000 MPa$$
$$\varepsilon_s = 2.1‰$$

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

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

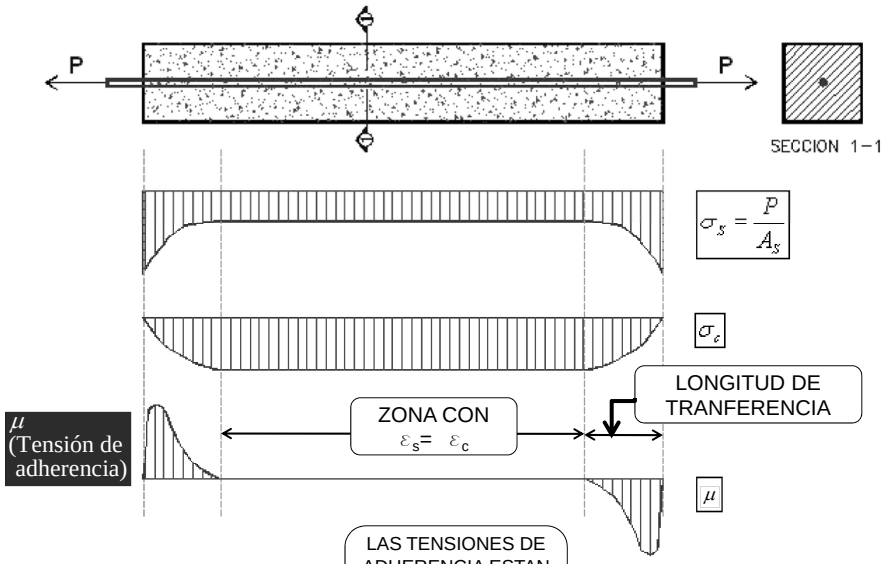
EL HORMIGÓN BRINDA
PROTECCIÓN A LA ARMADURA

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 ε QUE LAS FIBRAS VECINAS DE HORMIGÓN

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

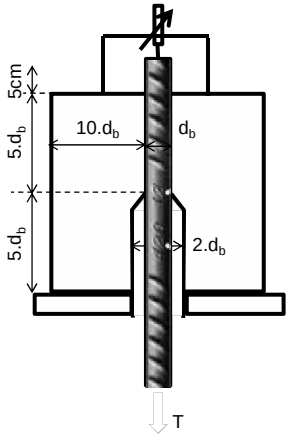


$dT_s = d\sigma_s . A_s = \mu_{(x)} . u . dx$

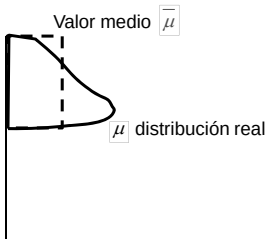
A_s : Área de acero

u = Perímetro de la barra

EL ENSAYO DE ARRANCAMIENTO:



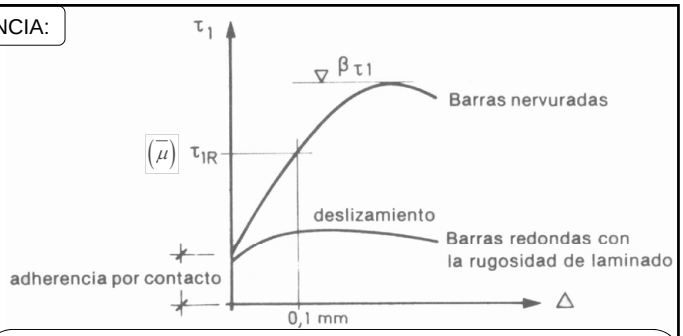
Layout de ensayo de arrancamiento (pull-out) según recomendación Rilem



Distribución de las tensiones de adherencia

TIPOS DE ADHERENCIA:

Figura 4.10
LEONHARDT, Tomo I
(nomenclatura eurocódigos)



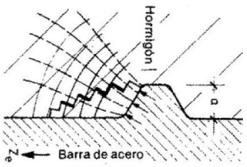
$H=\mu_{fricc}.N$

μ_{fricc}=0.30 a 0.60

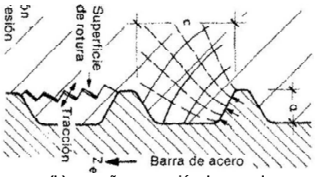
- **POR CONTACTO**: ACERO/MORTERO (Rugosidad, limpieza de las barras)
- **POR ROZAMIENTO**: un desplazamiento relativo entre el acero y el hormigón, da origen a una resistencia por rozamiento, siempre que existan presiones normales a la armadura. ($H=\mu_{fricc}.N$)
- **POR CORTE**: Endentado que actúa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

Figura 4.7
LEONHARDT, Tomo I

——— Trayectorias de tracción
- - - - Trayectorias de compresión



(a) gran separación de nervaduras



(b) pequeña separación de nervaduras

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**

FIUBA – Depto. Construcciones y Estructuras
74.01 y 94.01 - HORMIGON I

FIN –
MATERIALES:
EL HORMIGÓN y EL ACERO

GRACIAS POR SU ATENCION !!!