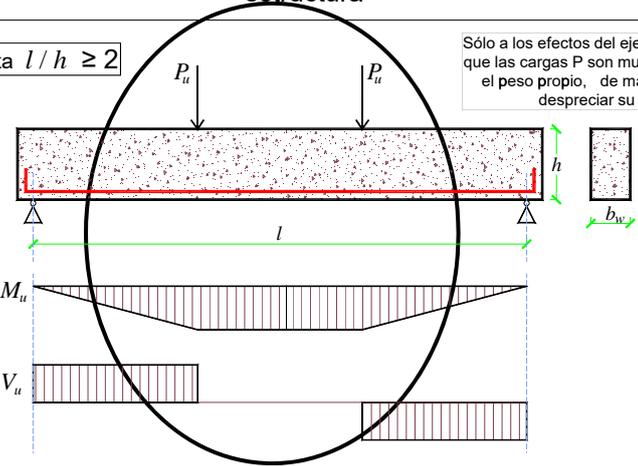


HORMIGÓN I (74.01 y 94.01)  
**COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO  
HORMIGÓN-ACERO**  
Esfuerzo axial y flexión

**HORMIGÓN ARMADO**  
**= HORMIGÓN + BARRAS DE ACERO**  
Se mejora la resistencia a tracción y la ductilidad de la estructura

Viga esbelta  $l/h \geq 2$

Sólo a los efectos del ejemplo suponemos que las cargas P son mucho mayores que el peso propio, de manera de poder despreciar su efecto.



**Cómo calculamos la armadura a disponer?**

DISEÑO BASADO EN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

Con la geometría de la sección y las características de los materiales, se determina

**Resistencia Nominal**  $M_n$   
(capacidad portante)

Multiplicada por el coeficiente de minoración de resistencia, se obtiene

**Resistencia de Diseño**  $M_d = \phi M_n$

Con las cargas mayoradas y conociendo las condiciones de vínculo, se determina

$M_u$  **Resistencia Requerida**

Se debe verificar que  
 $M_d = \phi M_n \geq M_u$

El objetivo de esta clase es analizar el comportamiento mecánico del conjunto hormigón acero frente a flexión y a esfuerzo axial. Se presentarán las hipótesis básicas para determinar la

Cómo se determina la resistencia nominal?

PLANTEANDO UN  
MODELO DE ANÁLISIS  
QUE INTERPRETE EN FORMA SUFICIENTEMENTE  
APROXIMADA EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO REAL  
DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO

EN ESTE CURSO VEREMOS MODELOS CONVENCIONALES  
SUFICIENTEMENTE PROBADOS PARA EL DISEÑO DE  
SECCIONES DE Hªº USUALES.

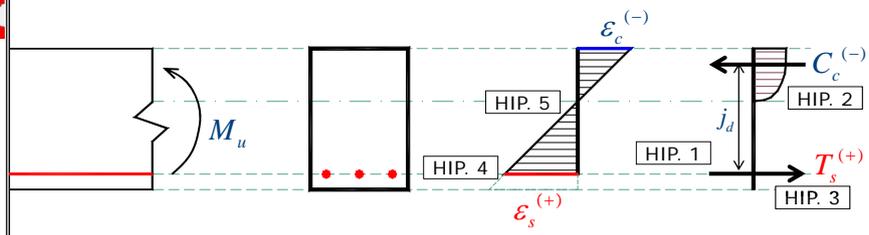
EXISTEN OTROS MODELOS EN BASE A TEORÍAS MÁS  
SOFISTICADAS QUE EN GENERAL UTILIZAN MÁS  
PARÁMETROS, SON COMPUTACIONALMENTE MÁS CAROS,  
Y SE UTILIZAN PARA PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DEL  
HORMIGÓN EN CASOS PARTICULARES.

FI

HIPÓTESIS FUNDAMENTALES USUALMENTE  
CONSIDERADAS DEL COMPORTAMIENTO  
DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

- HIP. 1-** SE DESPRECIA LA RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL HORMIGÓN PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE. (o sea, en los ELU)
- HIP. 2-** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN: SE ADOPTA UNA RELACIÓN IDEALIZADA ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES
- HIP. 3-** COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO A TRACCIÓN Y A COMPRESIÓN: SE ADOPTA UNA CURVA SIMPLIFICADA TENSIÓN-DEFORMACIÓN
- HIP. 4-** EXISTE ADHERENCIA PERFECTA ENTRE EL HORMIGÓN Y EL ACERO
- HIP. 5-** HIPÓTESIS DE BERNOULLI: SECCIONES PLANAS ANTES DE LA DEFORMACIÓN, PERMANECEN PLANAS LUEGO DE LA DEFORMACIÓN

RESUMEN DE LAS HIPOTESIS:



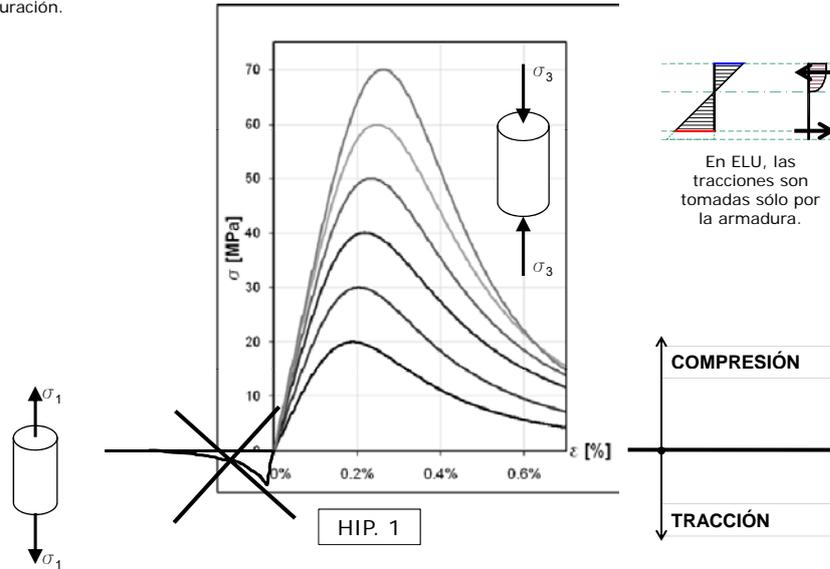
$M_n = T_s j_d$  Resistencia Nominal

$M_d = \phi M_n$  Resistencia de Diseño

$M_d = \phi M_n \geq M_u$

HIP. 1- SE DESPRECIA LA RESISTENCIA A TRACCIÓN DEL HORMIGÓN PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE. (o sea, en los ELU)

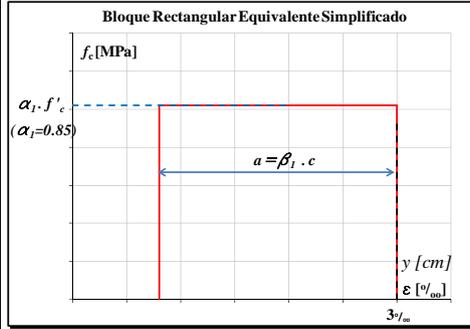
La resistencia a tracción, a los efectos de la capacidad portante no tiene una incidencia significativa. Sin embargo, puede tenerla para la determinación de deformaciones y para la evaluación del estado de fisuración.



COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión Lámina 7

HIP. 2- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN: SE ADOPTA UNA RELACIÓN IDEALIZADA ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES

SE ADOPTA:  $\epsilon_{cu} = 3^0/_{00}$  DEFORMACIÓN ÚLTIMA DEL HORMIGÓN (O DEFORMACIÓN DE ROTURA)  $\Rightarrow$  ROTURA CONVENCIONAL



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

c: profundidad del eje neutro  
y: distancia de una fibra al eje neutro

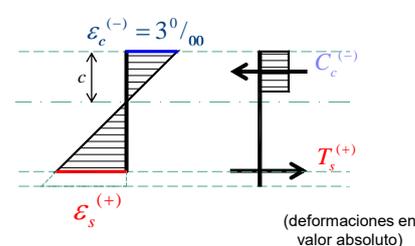
Si se verifica que  $\epsilon_{c(max)} = \epsilon_{cu} = 3^0/_{00}$

$\Rightarrow$  se adopta un bloque rectangular equivalente de tensiones simplificado

Sólo me interesa la resultante:

$$C_c^{(-)} = \beta_1 c \alpha_1 f'_c b$$

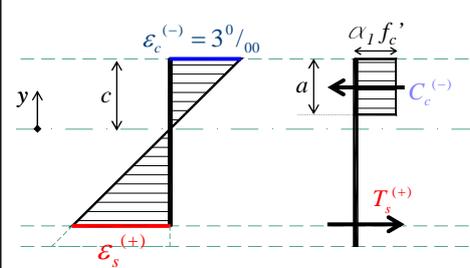
En este caso, no conozco la distribución de tensiones.



COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión Lámina 8

HIP. 2- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN: SE ADOPTA UNA RELACIÓN IDEALIZADA ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES

SE ADOPTA:  $\epsilon_{cu} = 3^0/_{00}$  DEFORMACIÓN ÚLTIMA DEL HORMIGÓN (O DEFORMACIÓN DE ROTURA)  $\Rightarrow$  ROTURA CONVENCIONAL



c: profundidad del eje neutro  
y: distancia de una fibra al eje neutro  
 $a = \beta_1 c$ : altura del bloque rectangular equivalente de tensiones

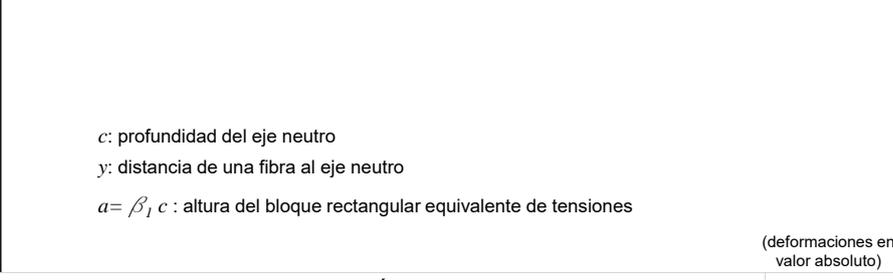
Si se verifica que  $\epsilon_{c(max)} = \epsilon_{cu} = 3^0/_{00}$

$\Rightarrow$  se adopta un bloque rectangular equivalente de tensiones simplificado.

Sólo me interesa la resultante:

$$C_c^{(-)} = \beta_1 c \alpha_1 f'_c b$$

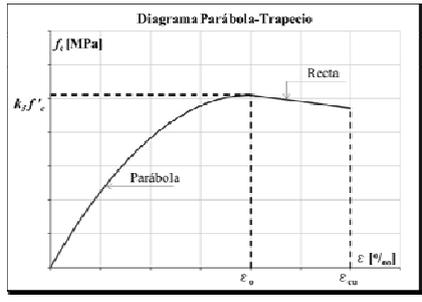
Los coeficientes uniformizan el diagrama completo.



COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión Lámina 9

**HIP. 2- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN: SE ADOPTA UNA RELACIÓN IDEALIZADA ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES**

SE ADOPTA:  $\epsilon_{cu} = 3\text{‰}$  DEFORMACIÓN ÚLTIMA DEL HORMIGÓN (O DEFORMACIÓN DE ROTURA)  $\rightarrow$  ROTURA CONVENCIONAL



Si se verifica que  $\epsilon_{c(max)} \neq 3\text{‰}$

- no son válidos los coeficientes simplificados.  
 Debo:
- adoptar una relación  $\sigma-\epsilon$  para el hormigón en compresión
  - calcular los coeficientes de uniformización que correspondan.

Adopto por ejemplo el diagrama parábola-trapecio

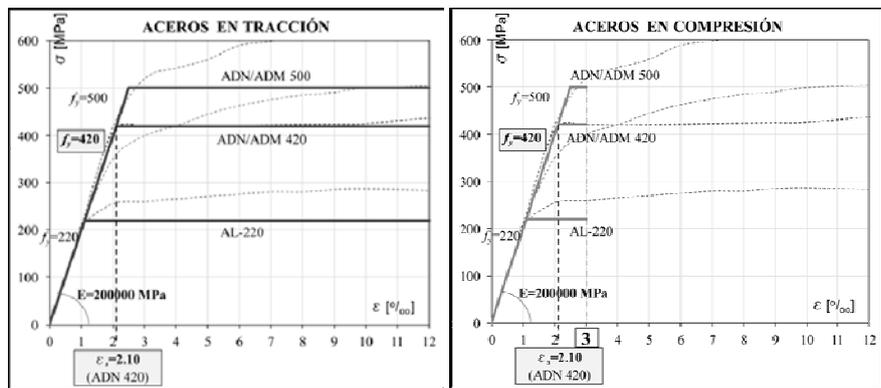
$$f_{c(y)} = \begin{cases} = k_3 f'_c \left[ 2 \frac{\epsilon_{c(y)}}{\epsilon_o} - \left( \frac{\epsilon_{c(y)}}{\epsilon_o} \right)^2 \right] & \text{para: } \epsilon_{c(y)} \leq \epsilon_o \\ = k_3 f'_c \left[ 1 - k_o \left( \frac{\epsilon_{c(y)} - \epsilon_o}{\epsilon_o} \right) \right] & \text{para: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

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

(deformaciones en valor absoluto)

**COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión** Lámina 10

**HIP. 3- COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO (TRACCIÓN/COMPRESIÓN): SE ADOPTA UNA RELACIÓN IDEALIZADA ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES**

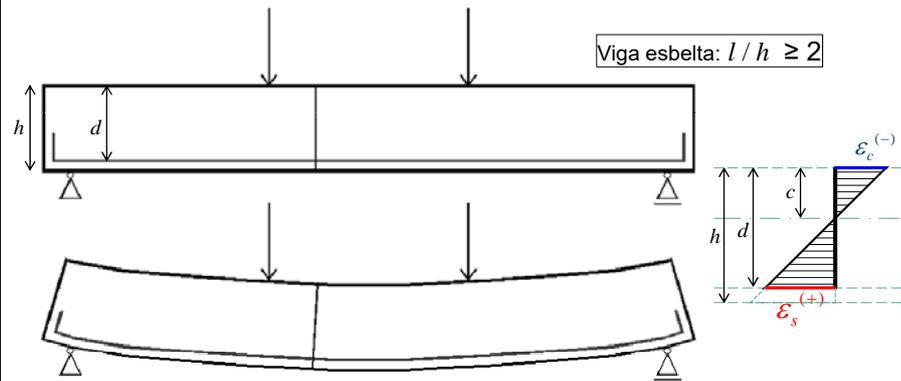


$E_s = 200000 \text{ MPa}$  Módulo de elasticidad para todos los aceros  
 $\epsilon_y = 2.10\text{‰}$  Deformación de fluencia para un acero ADN 420

**COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión** Lámina 11

HIP. 4- EXISTE ADHERENCIA PERFECTA ENTRE EL HORMIGÓN Y EL ACERO

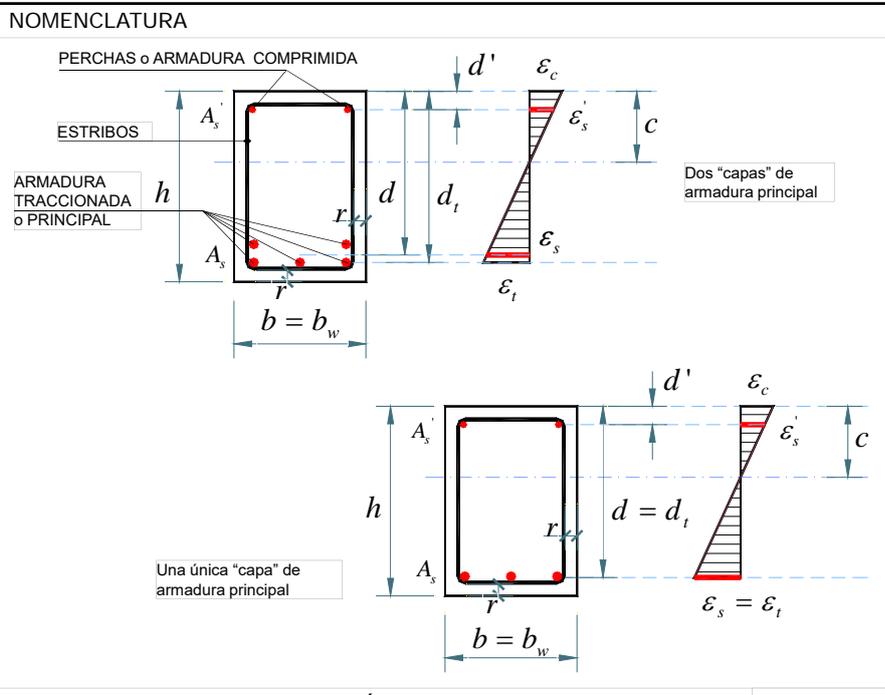
HIP. 5- HIPÓTESIS DE BERNOULLI: SECCIONES PLANAS ANTES DE LA DEFORMACIÓN, PERMANECEN PLANAS LUEGO DE LA DEFORMACIÓN



ECUACIÓN DE COMPATIBILIDAD

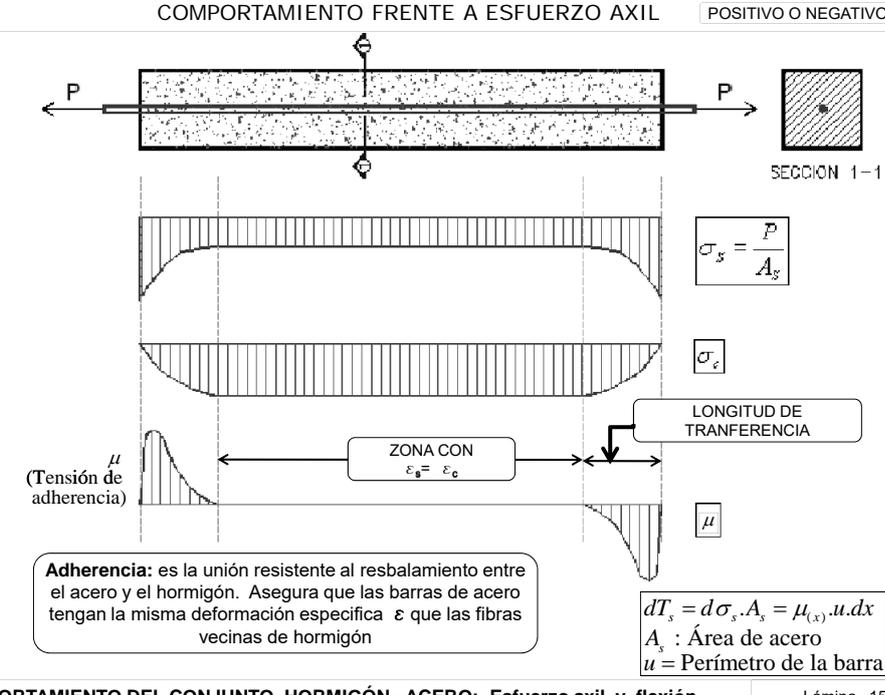
$$\frac{|\epsilon_c^-|}{c} = \frac{|\epsilon_c^-| + \epsilon_s}{d}$$

**COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión** Lámina 12



## COMPORTAMIENTO DEL HORMIGON ARMADO FRENTE A ESFUERZO NORMAL SIN FLEXIÓN

COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión Lámina 14



**Adherencia:** es la unión resistente al resbalamiento entre el acero y el hormigón. Asegura que las barras de acero tengan la misma deformación específica  $\epsilon$  que las fibras vecinas de hormigón

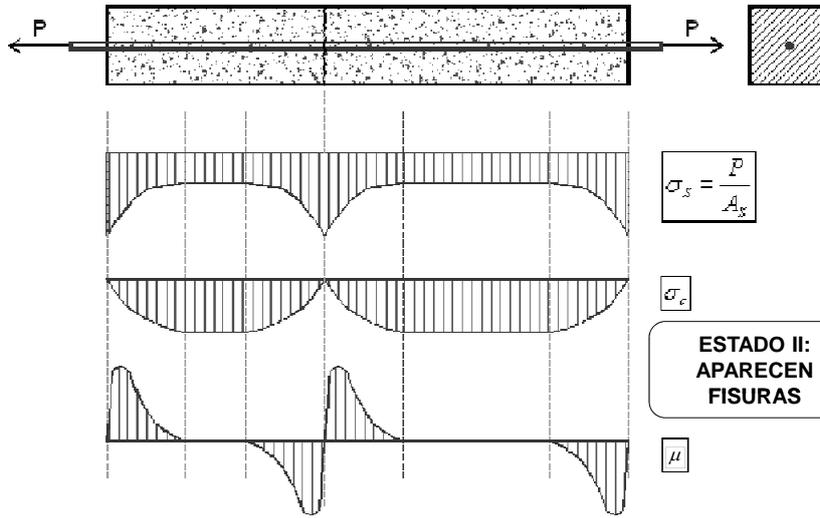
$$dT_s = d\sigma_s \cdot A_s = \mu_{(x)} \cdot u \cdot dx$$

$A_s$  : Área de acero  
 $u$  = Perímetro de la barra



COMPORTAMIENTO FRENTE A ESFUERZO AXIL DE TRACCIÓN

QUÉ PASA SI AUMENTAMOS LA CARGA....

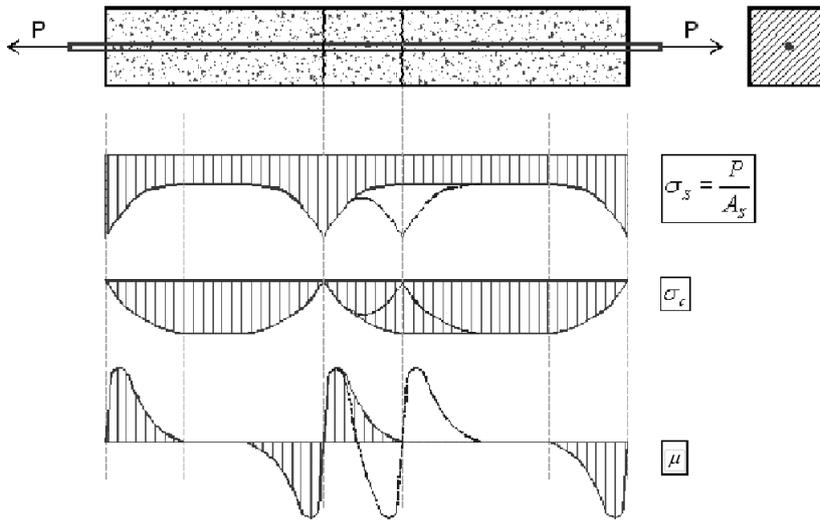


COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

Lámina 19

COMPORTAMIENTO FRENTE A ESFUERZO AXIL DE TRACCIÓN

QUÉ PASA SI AUMENTAMOS LA CARGA....



**ESTADO II: FISURADO, PERO ANTES QUE EL ACERO ENTRE EN FLUENCIA**  
**ESTADO III: FISURADO, LUEGO DE QUE EL ACERO ALCANZA LA FLUENCIA**

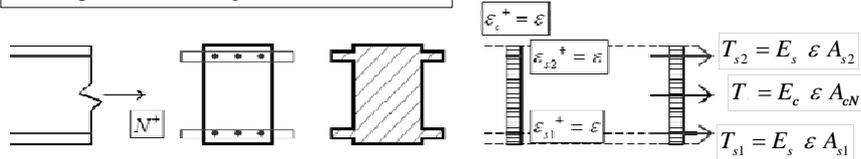
COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

Lámina 20

COMPORTAMIENTO FRENTE A ESFUERZO AXIL DE TRACCIÓN

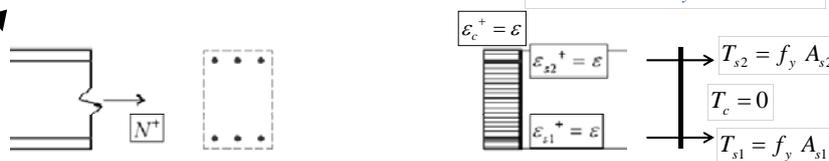
**TENSOR - ESFUERZO AXIL DE TRACCIÓN - Cómo calculamos la armadura a disponer?**

- Rango elástico (bajas sollicitaciones):



- ELU (Estado límite último):

$\epsilon \geq 5^0/_{00} > \epsilon_y$  (ADN 420)



COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

Lámina 21

## COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO EN FLEXIÓN

COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión

### COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN

- El hormigón no responde a la ley de Hooke hasta la rotura
- El hormigón se fisura al superarse su baja resistencia a tracción
- El Hormigón Armado es un material compuesto

En ELU, no es válida la teoría de vigas basada en teoría de la elasticidad.  $\sigma \neq M/W!!!!$

COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión

### COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN

ELS

**ESTADO I:  
SIN FISURAS**

ELU

**ESTADO II:  
APARECEN FISURAS**

MIENTRAS LAS DEFORMACIONES MÁXIMAS ESTÉN EN EL RANGO ELÁSTICO, VALE EL CONCEPTO DE SECCIÓN HOMOGENEIZADA.

**PUEDA SER ESTADO II o III**

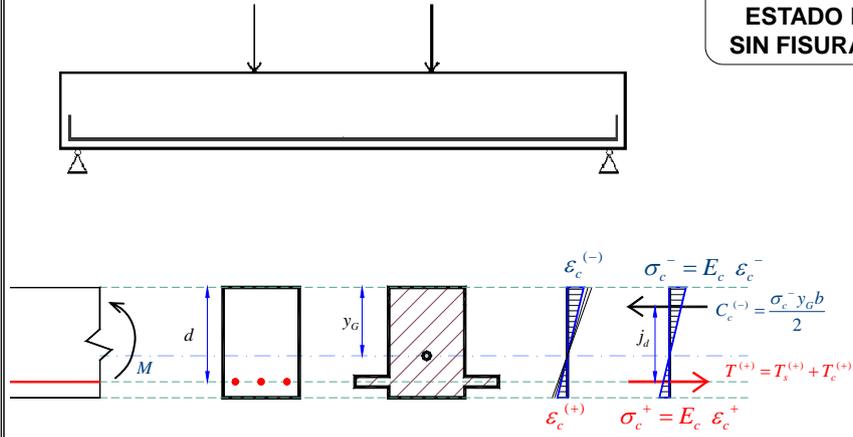
II: TENSIÓN DEL ACERO < FLUENCIA

III: TENSIÓN DEL ACERO ≥ FLUENCIA

COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axial y flexión

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN

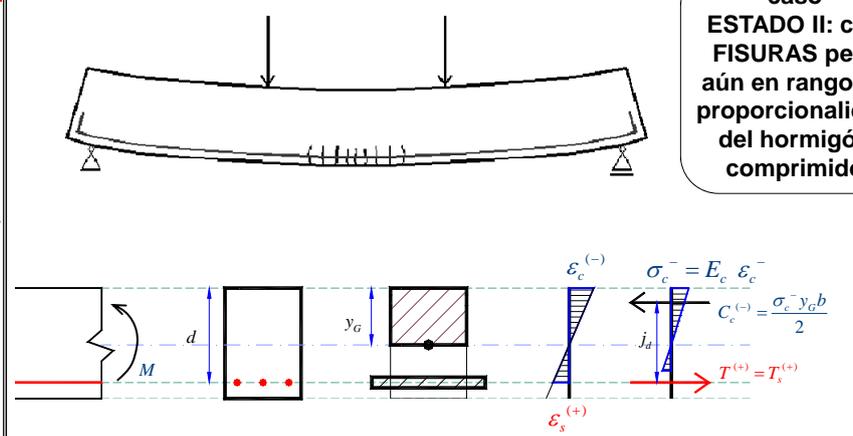
caso  
**ESTADO I:  
SIN FISURAS**



MIENTRAS LAS DEFORMACIONES MÁXIMAS ESTÉN EN EL RANGO ELÁSTICO,  
VALE EL CONCEPTO DE SECCIÓN HOMOGENEIZADA.

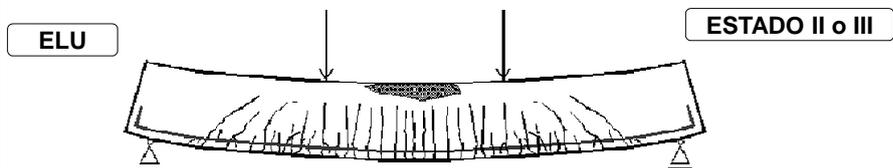
COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN

caso  
**ESTADO II: con  
FISURAS pero  
aún en rango de  
proporcionalidad  
del hormigón  
comprimido**



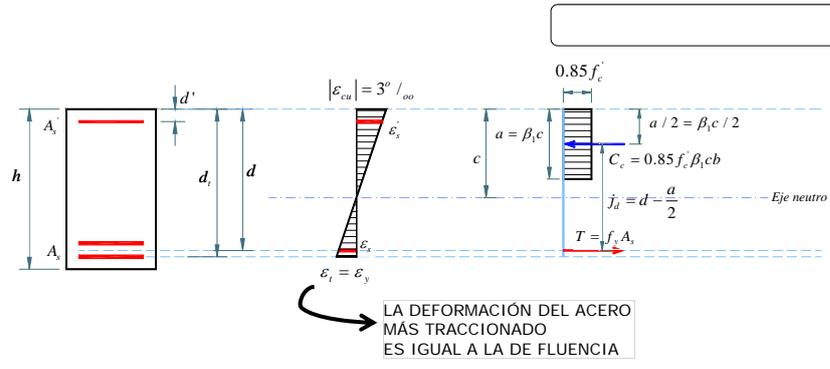
MIENTRAS LAS DEFORMACIONES MÁXIMAS ESTÉN EN EL RANGO ELÁSTICO,  
VALE EL CONCEPTO DE SECCIÓN HOMOGENEIZADA.

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN



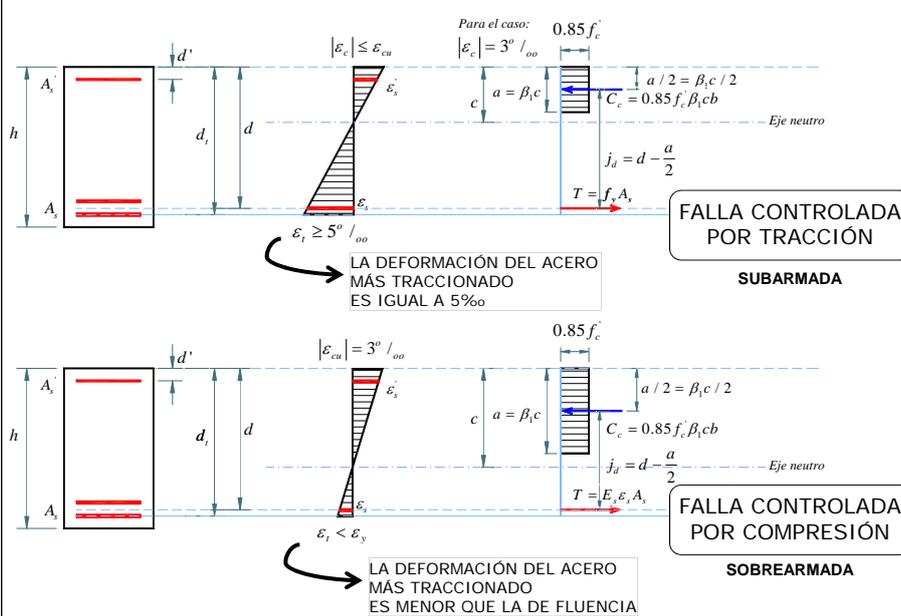
ELU EN FLEXIÓN  
PUEDE ALCANZARSE DE DISTINTAS FORMAS.....

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN - ELU



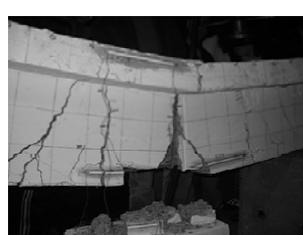
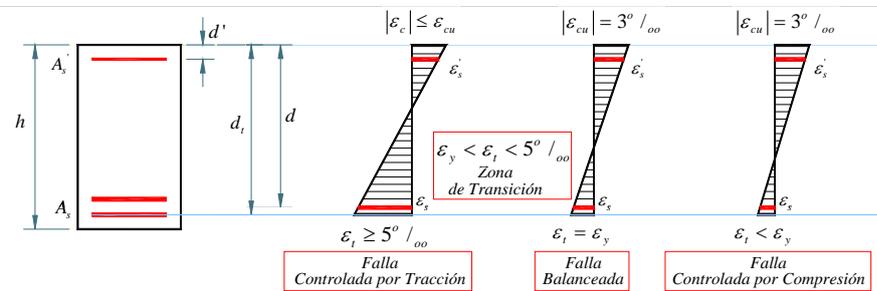
COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN - ELU

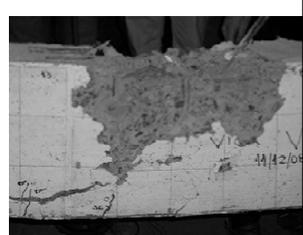


COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN - ELU



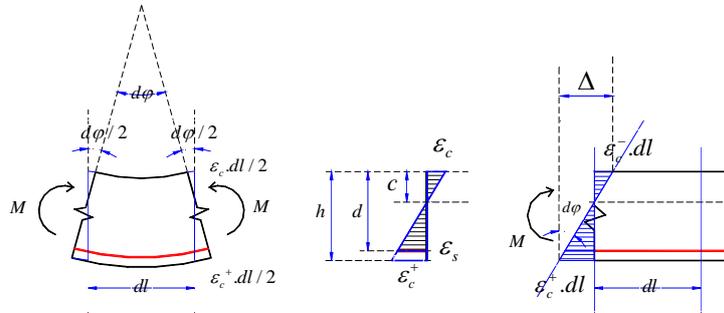
FALLA CONTROLADA POR TRACCIÓN



FALLA CONTROLADA POR COMPRESIÓN

COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

COMPORTAMIENTO EN FLEXIÓN - CURVATURA



$$\chi = \frac{1}{\rho} \cong \frac{d\phi}{dl} = \frac{d^2 y}{dl^2}$$

$$d\phi \cong \frac{\Delta}{h} = \frac{(\epsilon_c^+ + |\epsilon_c^-|)}{h} dl$$

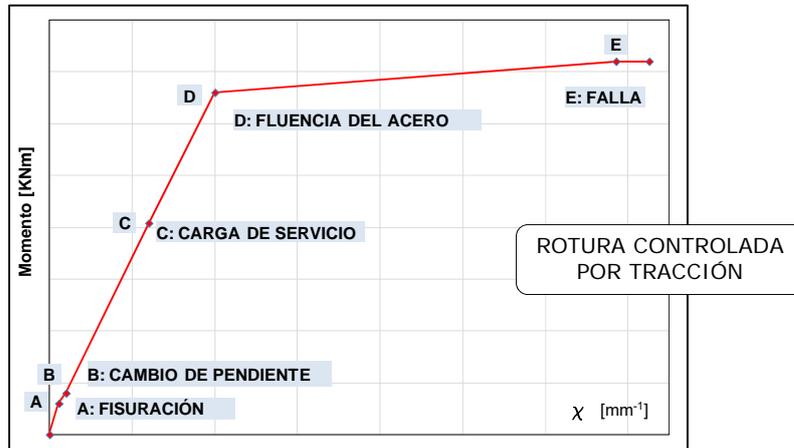
$$\epsilon_c^+ = \epsilon_s \frac{h-c}{d-c}$$

$$\chi = \left[ \epsilon_s \frac{h-c}{d-c} + |\epsilon_c^-| \right] \frac{1}{h} \quad \text{Curvatura}$$

COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

Lámina 31

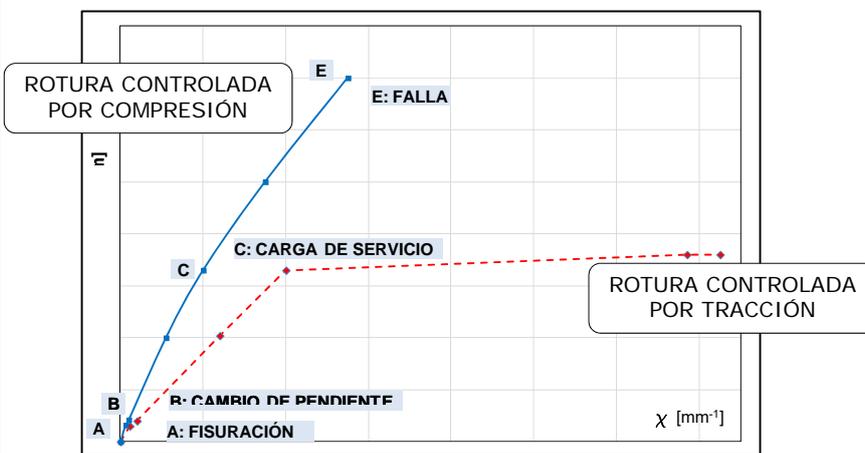
FALLA DE UNA SECCIÓN DE HORMIGÓN, ARMADA DE MANERA TAL QUE LA FALLA SE PRODUCE LUEGO DE LA FLUENCIA DEL ACERO EN TRACCIÓN



COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

Lámina 32

FALLA DE 2 SECCIONES IGUALES DE HORMIGÓN, CON DISTINTA CANTIDAD DE ARMADURA



COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO HORMIGÓN-ACERO: Esfuerzo axil y flexión

Lámina 33



PLANO DE ROTURA  
ó  
PLANO LÍMITE DE DEFORMACIÓN  
ES TODO AQUEL EN EL QUE SE ALCANZA UNA DEFORMACIÓN  
LÍMITE ÚLTIMA (CONVENCIONAL) EN EL ACERO Y/O EN EL  
HORMIGÓN.  
ACEPTAMOS QUE CUANDO LA SECCIÓN ALCANZA UN PLANO DE  
ROTURA, SU CAPACIDAD PORTANTE SE AGOTA.



FIN –  
COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO  
HORMIGÓN-ACERO:  
Esfuerzo axial y flexión

GRACIAS POR SU ATENCION !!!