

Edificio **Intempo**. Benidorm – Alicante  
192 metros de altura y 47 plantas (en terminación)

## Hormigón Armado:

- ¿Qué es?
- ¿Cómo trabaja?
- ¿Cuáles son sus aplicaciones?
- ¿Cuáles son sus características mas sobresalientes?
- ¿Cuáles son sus puntos débiles?



## ¿Qué es el Hormigón Armado?

- Una combinación de hormigón y acero
- Que actúan en conjunto
- Material de construcción fuerte, durable y versátil
- Aprovecha las mejores propiedades de cada material
  - Hormigón: Resistencia a la compresión
  - Acero: Resistencia a la tracción

# HORMIGÓN ARMADO

Propiedades	Hormigón	Acero
Resistencia a la tracción	Pobre (1/10 de $R_c$ )	Buena
Resistencia a al compresión	Buena	Buena (algo disminuida por pandeo)
Resistencia al corte	Suficiente	Buena
Durabilidad	Buena	Problemas de corrosión
Resistencia al fuego	Buena	Pobre - rápida pérdida de resistencia a altas T

- Los materiales son complementarios
- El acero provee resistencia a tracción y algo de resistencia al corte, con muy buena adherencia al H°
- El hormigón provee resistencia a la compresión y protege al acero para darle durabilidad y resistencia al fuego



# HORMIGÓN ARMADO

## Hormigón Armado

-Se trata de un material compuesto por **hormigón** reforzado con barras o mallas de **acero**, llamadas **armaduras**

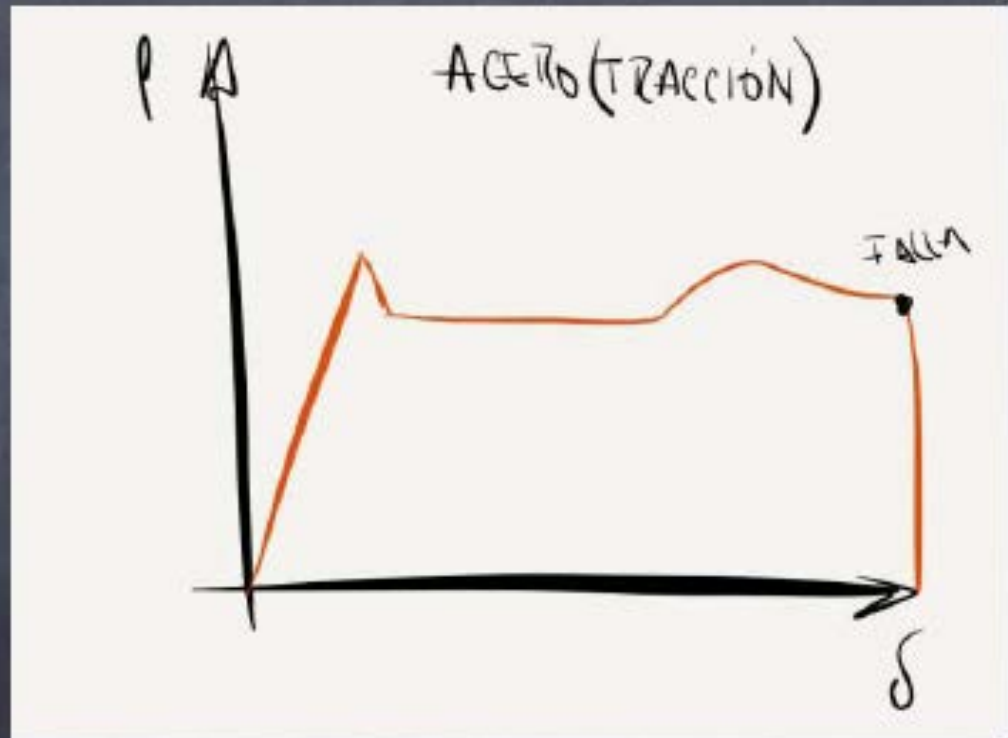
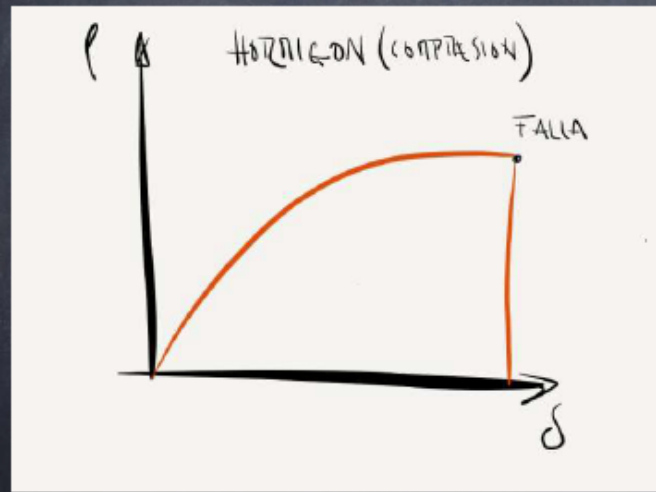
El hormigón armado combina las virtudes del hormigón para resistir compresiones y las del acero, en forma de armado de barras, para resistir tracciones.



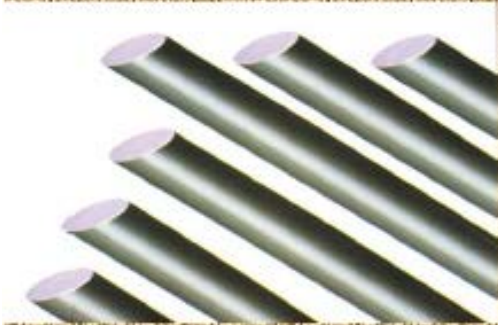


# HORMIGÓN ARMADO

- El Hormigón falla de manera frágil (repentina, sin aviso - nada bueno para las estructuras!)
- Con el acero agregamos capacidad para tomar esfuerzos de tracción y ductilidad a la estructura



## Aceros para Hormigón



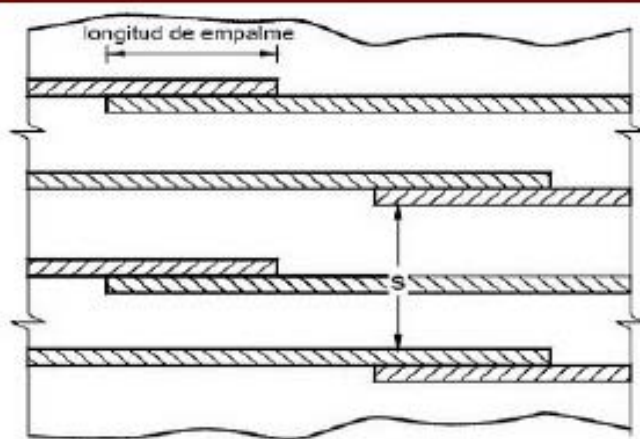
Propiedades Mecánicas			
ACERO TIPO	Tensión de Fluencia (MPa)	Tensión de Rotura (MPa)	Alargamiento de rotura (%)
AL-220	220	340	18
ADN-420	420	500	12
AM-500	500	550	6





# HORMIGÓN ARMADO

Cuando el hormigón fragua se contrae y presiona a las barras de acero. Éstas suelen tener salientes en su superficie, que mejoran la adherencia, y con ello la transmisión de los esfuerzos.



(a) Armadura de tabiques y losas



Por último, el PH alcalino del cemento produce la pasivación del acero, fenómeno que ayuda a protegerlo de la corrosión.

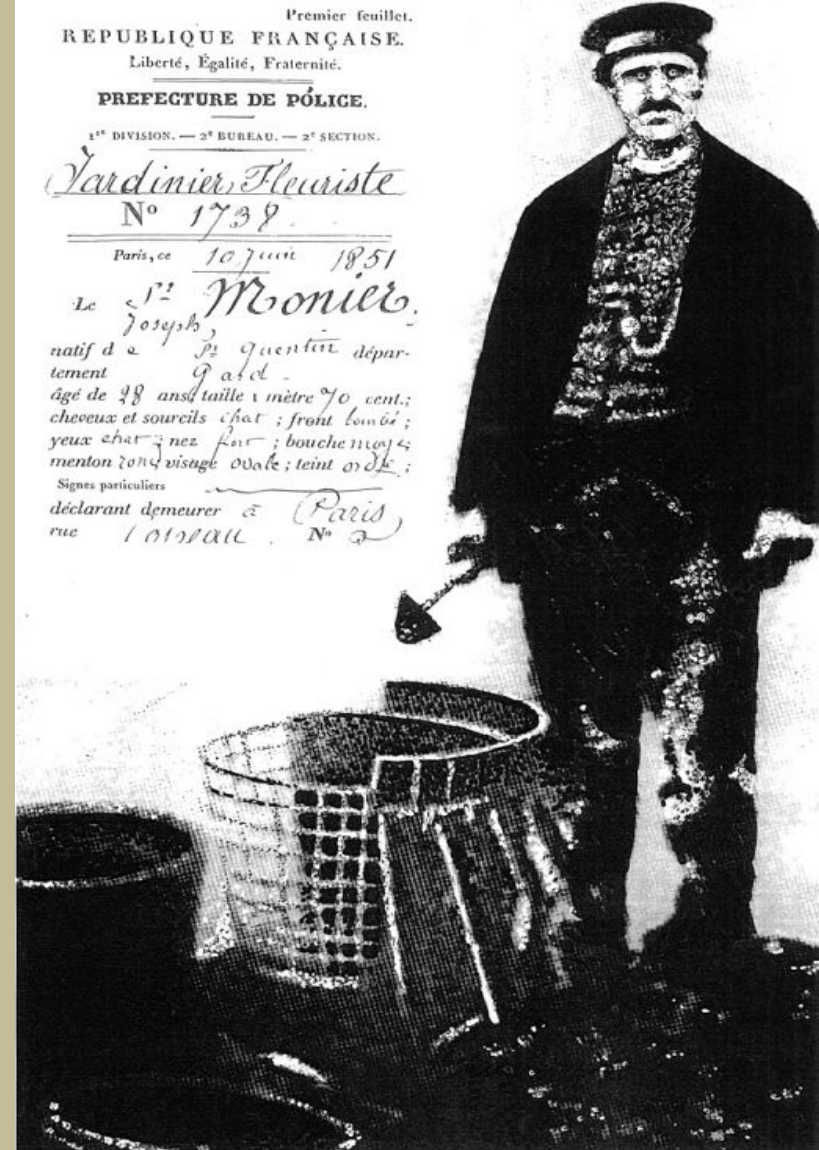


# HORMIGÓN ARMADO

## Algo de Historia...

Hacia mediados del siglo XIX en Europa, y particularmente en Francia, hubieron algunas obras puntuales realizadas por diversos constructores de ese país, con la combinación de Hormigón y Acero (arcos, edificaciones y hasta embarcaciones), obteniendo resultados disímiles.

No obstante, la invención del Hormigón Armado puede atribuirse a **Joseph Monier**, un jardinero francés que fabricaba macetas de concreto con refuerzos de malla de alambre, registrando dicho sistema constructivo en la década de 1860, y patentando también el uso de esta técnica para la construcción de tanques, tuberías, vigas, escaleras, etc.





# HORMIGÓN ARMADO

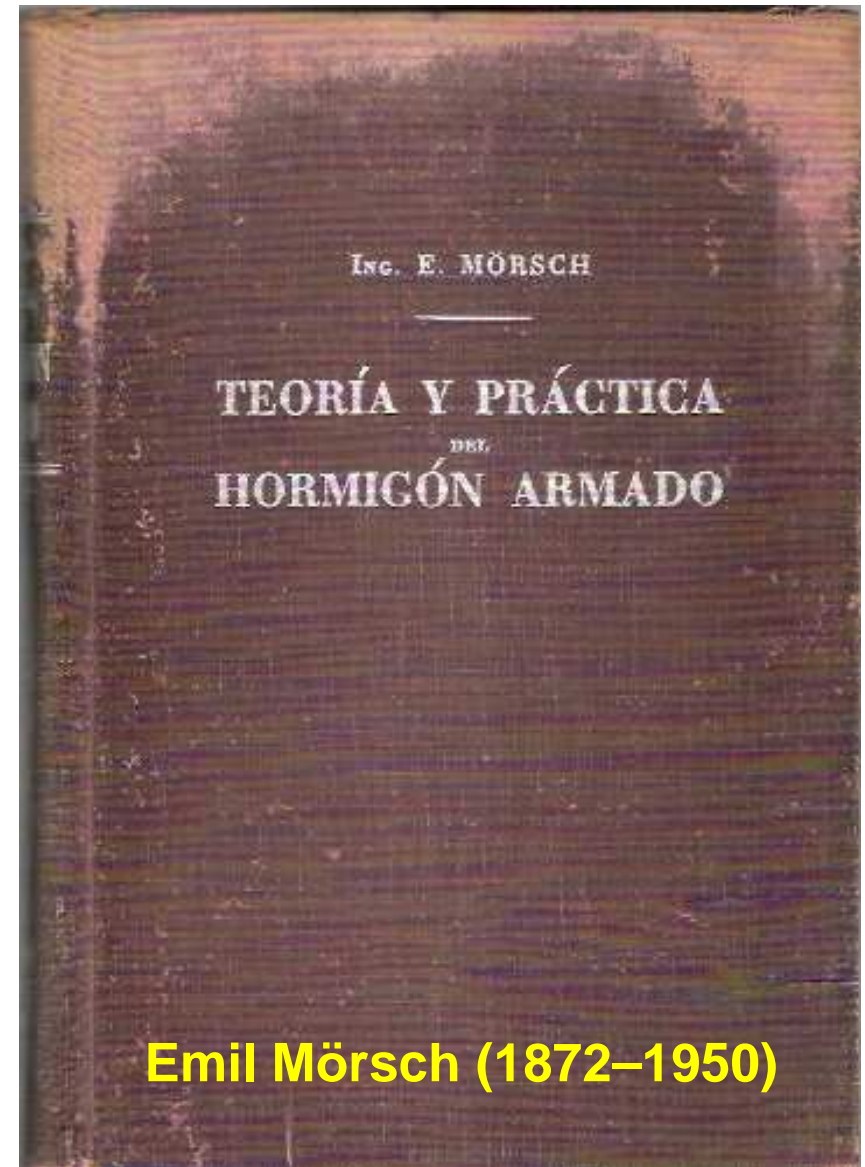
En años inmediatos posteriores el Ingeniero François Hennebique desarrolla estudios y trabajos experimentales que le permitieron usar este nuevo material en obras de cierta importancia y magnitud.

Vista de la ciudad de Châtellerault - Francia, y del curso del río Vienne. En la parte inferior, el "puente de Camille de Hogues" diseñado y construido por François Hennebique en 1899.



# HORMIGÓN ARMADO

Paralelamente, otros ingenieros europeos como **Emperger, Mörsch y Marcus**, aplicando las leyes y reglas de la Mecánica aplicada a las Construcciones, dan origen a la actual teoría del cálculo, basándose además en los resultados de gran cantidad de ensayos realizados.





## Ventajas

**Monolitismo:** Una estructura de hormigón armado, esta formada por una sólo unidad, sin divisiones ni partes. Otros materiales estructurales como, piedra, madera, ladrillo, barras de acero; se deben ensamblar, remachar, soldar, adherir piedras o ladrillos entre sí, con todos los problemas que ello implica.



Puente sobre el barranco de Salgina, en el cantón suizo de Grisones. 90 m de luz. Ing. Maillart - 1930

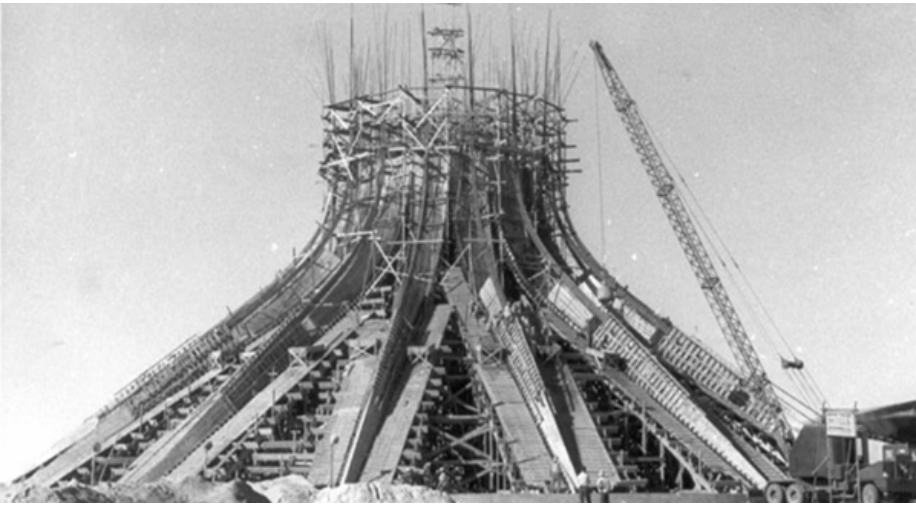
**Moldeabilidad:** El material toma la forma del molde de encofrado. Esto otorga gran libertad para realizar cualquier forma resistente en una estructura



Opera de Sidney, Australia. (1959-1973). Arq. Jørn Utzon



# HORMIGÓN ARMADO

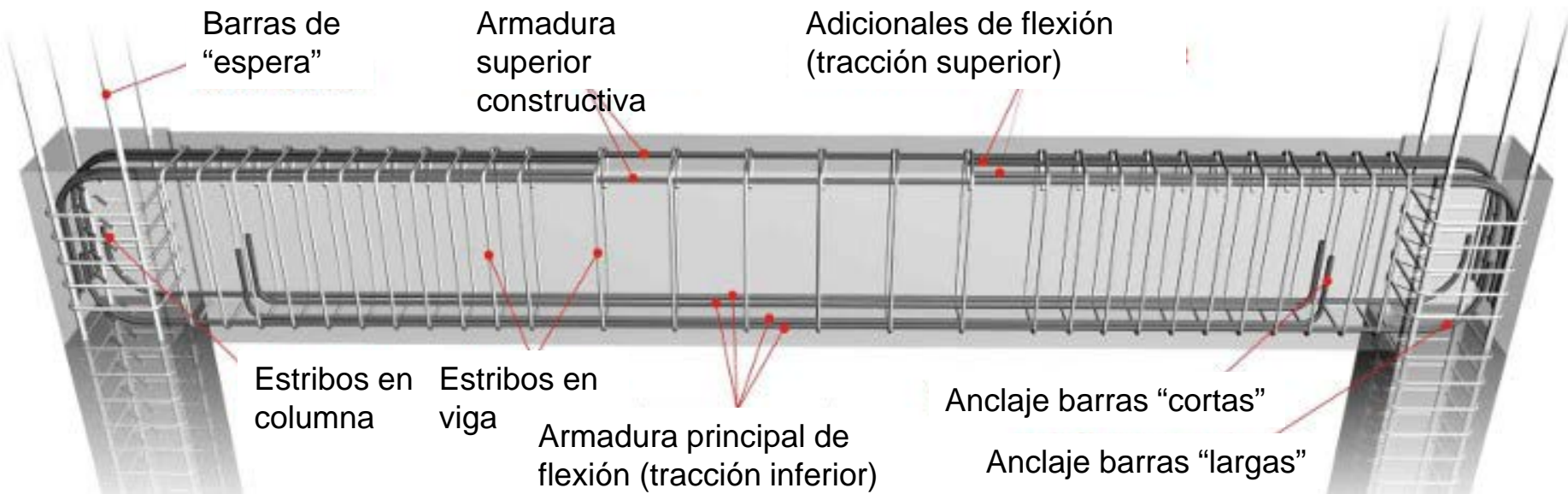


Catedral de Brasilia, O. Niemeyer - 1970

# HORMIGÓN ARMADO

**Economía:** Son dos materiales que se complementan para actuar como un todo, con las formas más adecuadas a cada caso. Se aprovechan las virtudes de cada uno de ellos, lo que hace al hormigón armado más económico comparativamente. Pueden ubicarse en él, barras de acero en las zonas que las necesita y en la cantidad más adecuada.

**Resistencia mecánica:** Se fabrica de acuerdo a la resistencia requerida. El hormigón mejora su trabajo a la compresión con una adecuada dosificación de sus componentes, y es posible utilizar aceros de alta resistencia, que se fabrican en la actualidad con variadas características



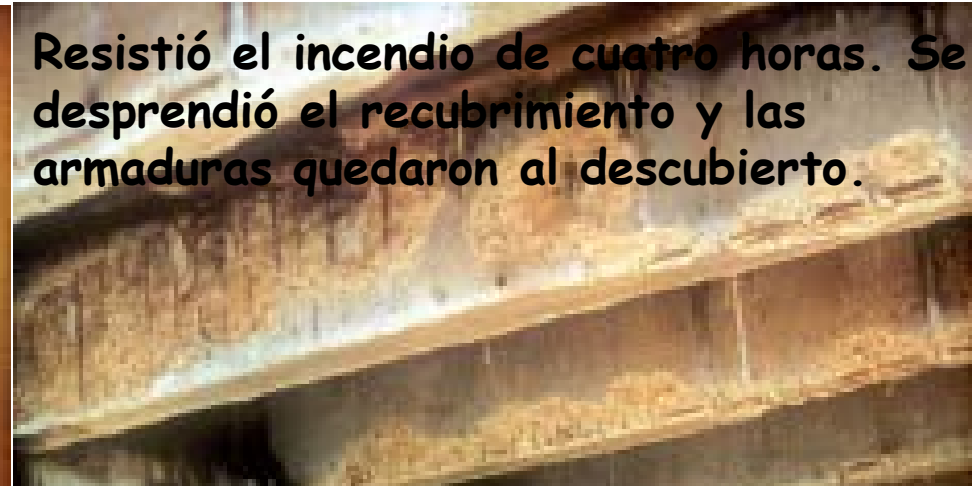


# HORMIGÓN ARMADO

**Resistencia al fuego:** Es de los materiales estructurales, que mejor resiste al fuego. El hormigón en masa, es buen aislante del calor, capaz de proteger con eficacia a las armaduras. La temperatura determinante para el colapso de las armaduras, tarda más de una hora en penetrar 1cm en el hormigón, por lo que un recubrimiento de 2 cm, es suficiente.



**Edificio en Francfort. Incendio en las plantas 38 a 41 el día 22 de agosto de 1973.**



**Resistió el incendio de cuatro horas. Se desprendió el recubrimiento y las armaduras quedaron al descubierto.**



**No hubo fallos de tipo estructural y se pudo reparar "in situ" reforzando las armaduras y protegiéndolas con hormigón proyectado.**

## Desventajas

**Mayor peso y volumen:** Una estructura de hormigón armado, puede pesar mas de 5 veces lo que una de acero y ocupa un mayor volumen, que comparado con el acero, disminuye el espacio libre de las obras.

**Difícil control de la calidad:** Al hormigonar un elemento estructural, se debe esperar el fraguado y endurecimiento del material para alcanzar cierta resistencia.



Torre de Madrid  
España (142 m)



## Desventajas

**Ejecución lenta:** En comparación con el acero, que se arma con gran rapidez en terreno, el hormigón requiere mayores tiempos de encofrados colocación de armaduras, hormigonado, fraguado y endurecimiento

**Materiales no recuperables:** La demolición del hormigón es casi más complicada que en otros materiales. Además, es muy baja y no rentable la posibilidad de recuperar parte del material



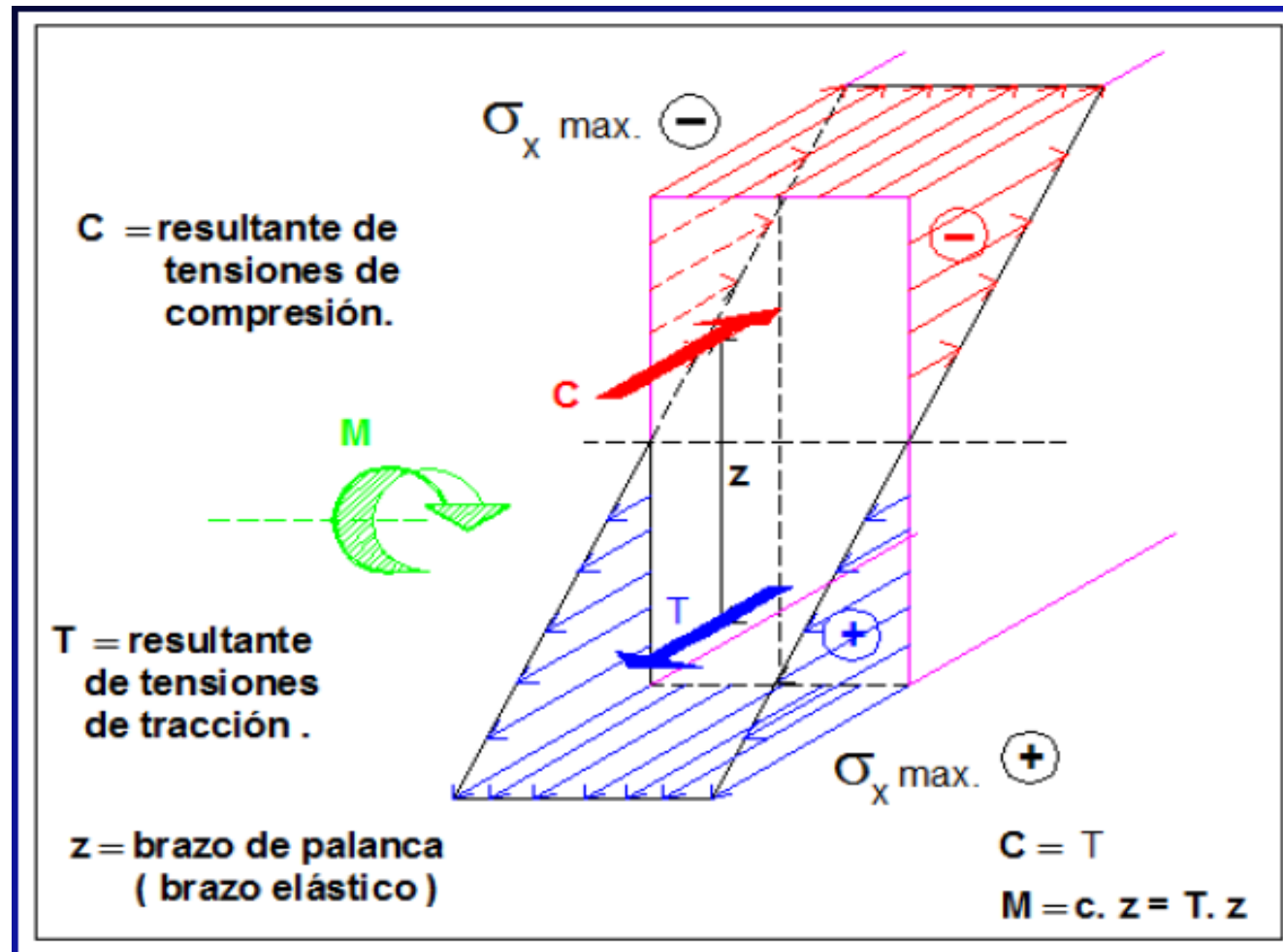
**John Hancock Center  
Chicago (344 m)**

# HORMIGÓN ARMADO

## Estructuras Flexadas de H°A°

En Nivel I de Estructuras estudiamos el comportamiento de piezas de material Homogéneo a Flexión Pura, observando la generación de un diagrama de tensiones como el indicado en la figura.

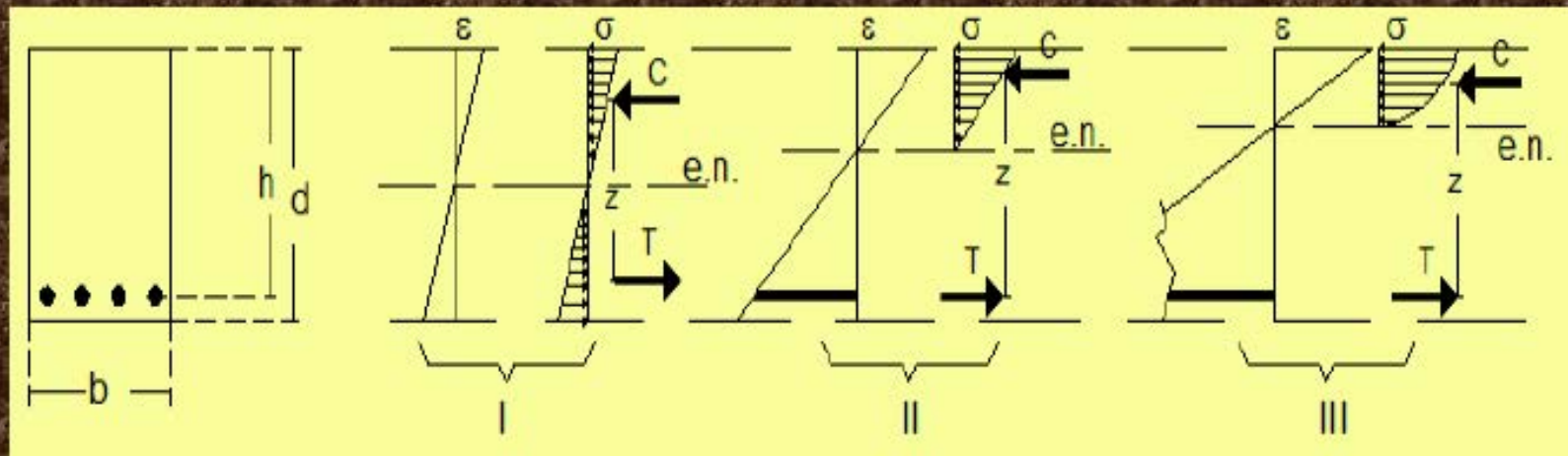
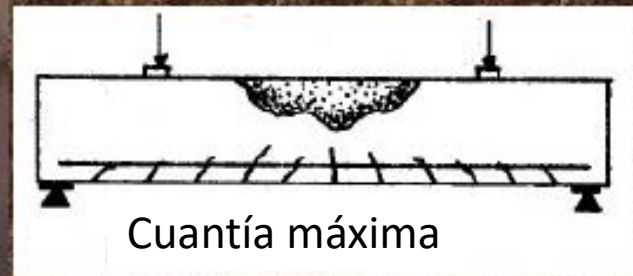
En virtud de que el H°A° no es un material homogéneo, su comportamiento a flexión es diferente.



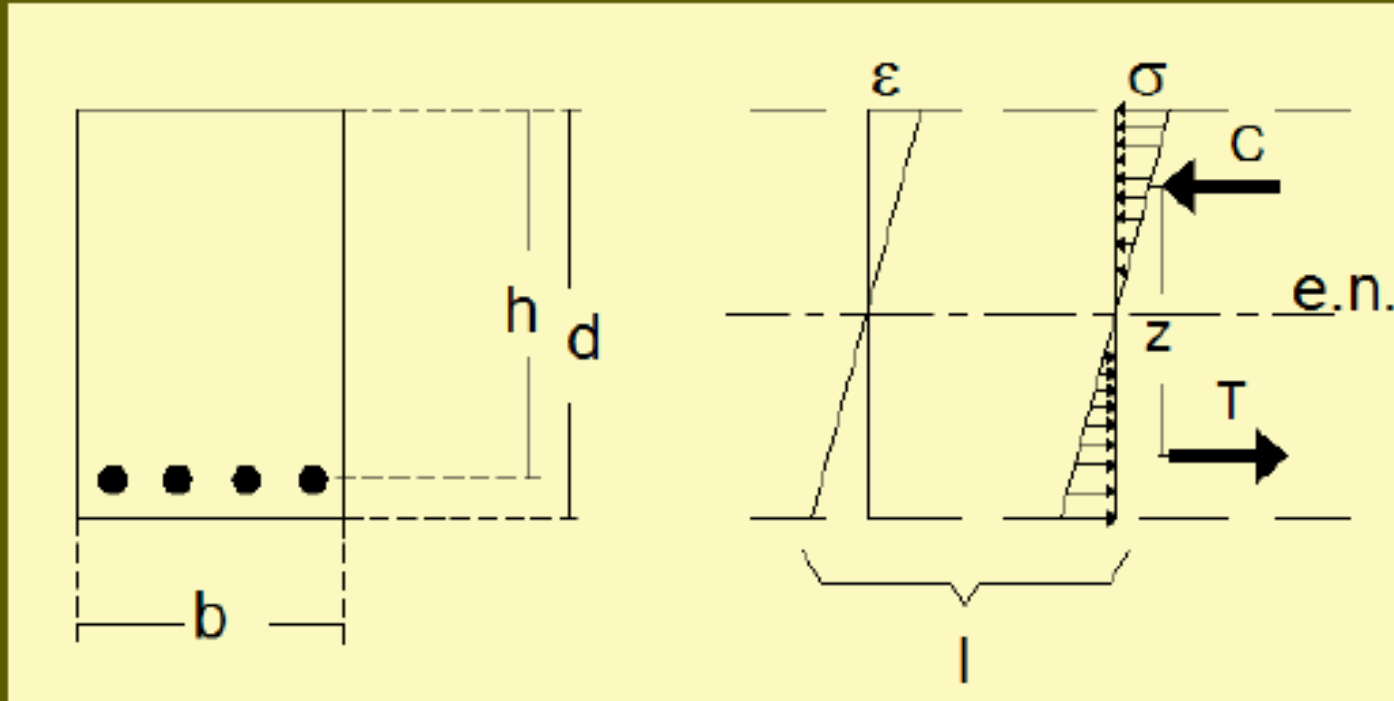
A continuación veremos como se puede representar el estado tensional en un ensayo a rotura de una viga sometida a flexión pura.



## Flexión en Hormigón Armado



# HORMIGÓN ARMADO

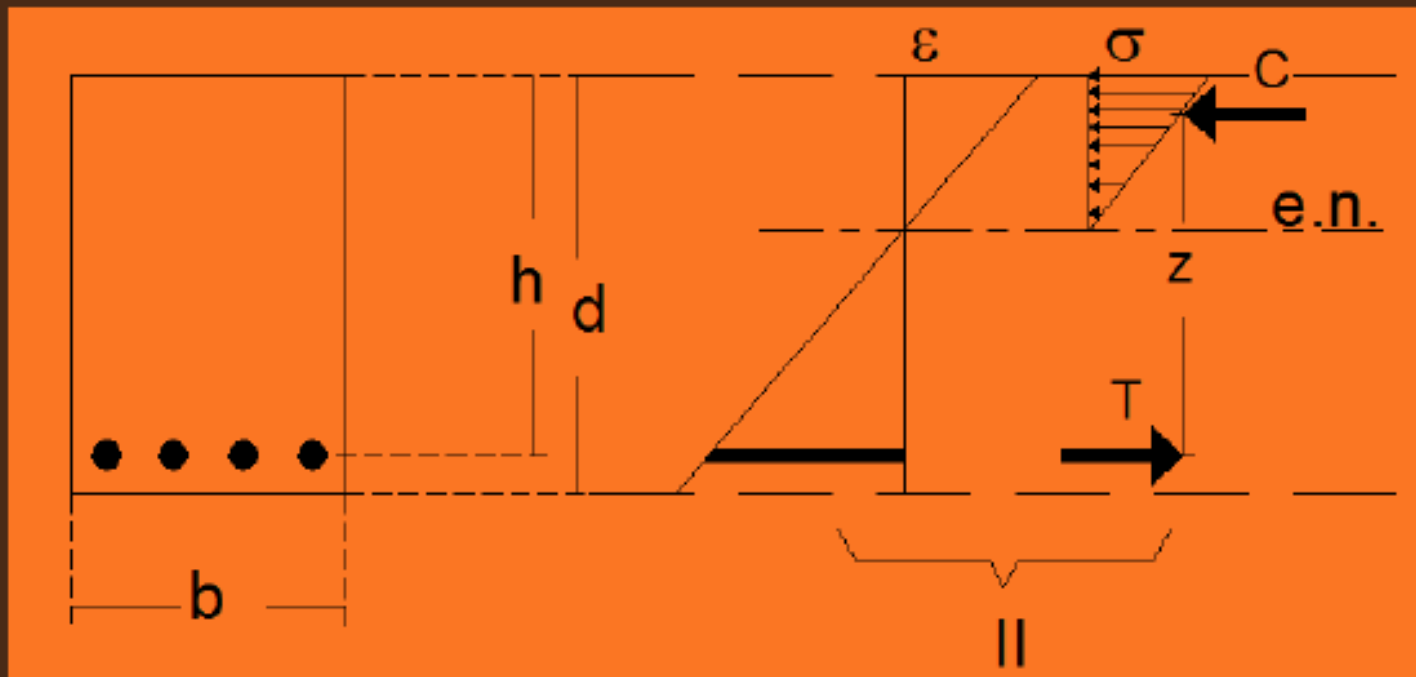


## Estado I

El hormigón resiste pequeñas tracciones. La viga se comporta como de material homogéneo. El eje neutro se encuentra en el centro de la sección. El acero aún no trabaja



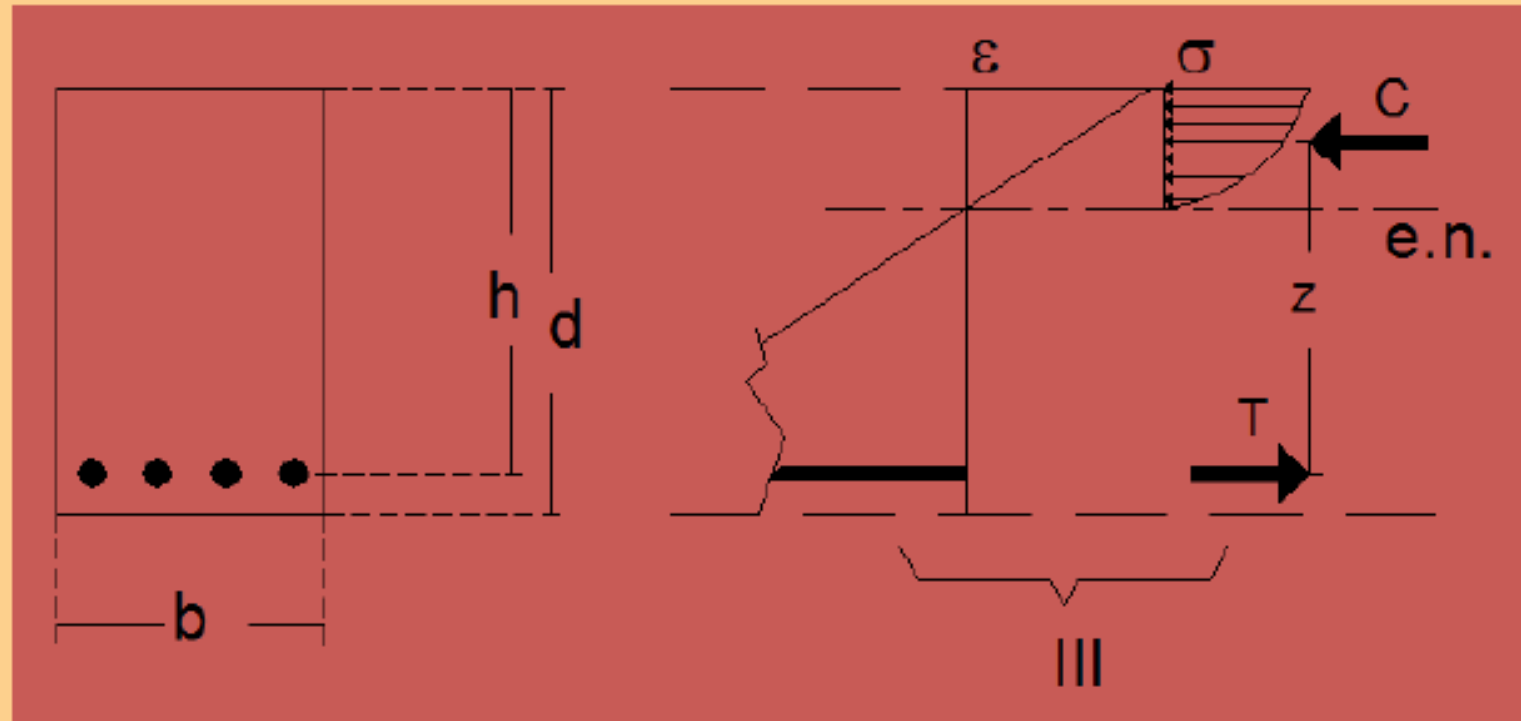
# HORMIGÓN ARMADO



## Estado II

El hormigón se fisura en la zona traccionada. El acero toma los esfuerzos de tracción. El eje neutro comienza a subir “empujado” por las fisuras inferiores. En compresión el comportamiento es elástico.

# HORMIGÓN ARMADO

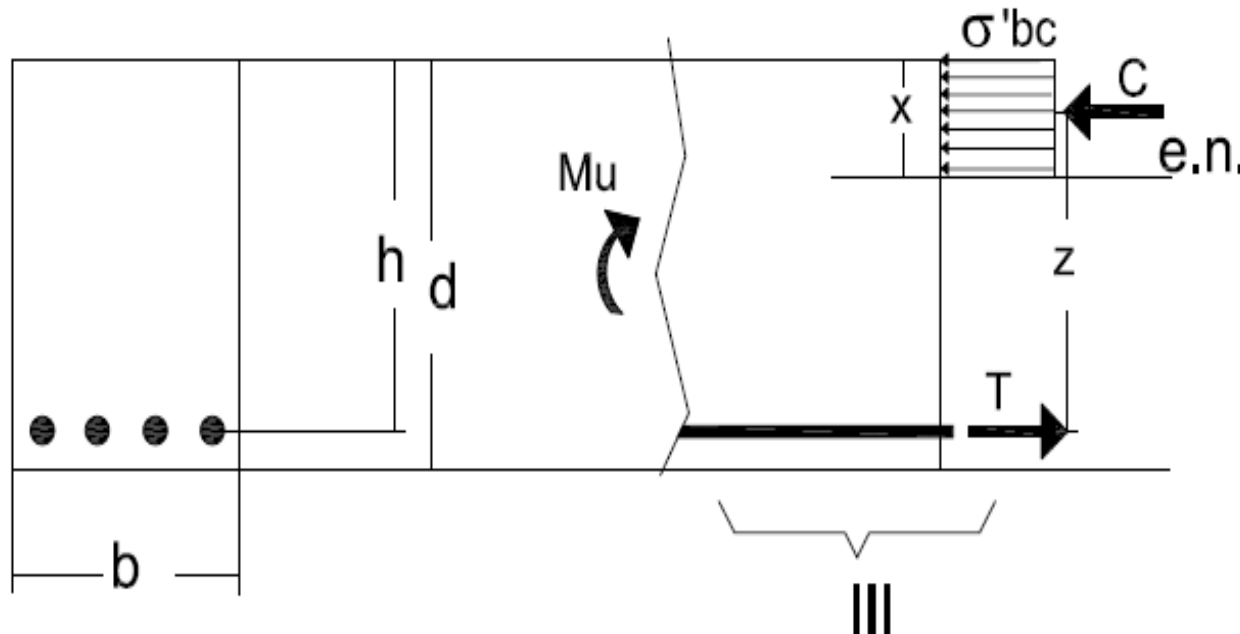


## Estado III

Las fisuras se siguen abriendo por los alargamientos del acero traccionado. El eje neutro sigue subiendo. El comportamiento del hormigón en compresión es plástico. El colapso de la sección se produce por “explosión” de la zona comprimida



Diagrama Simplificado Estado III



$$Mu = M * U$$

$$U_{flex} = 1.75$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow Mu = T * z$$

$$T = A * \sigma_{ek}$$

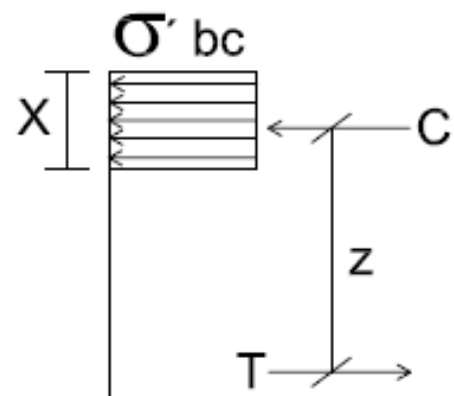
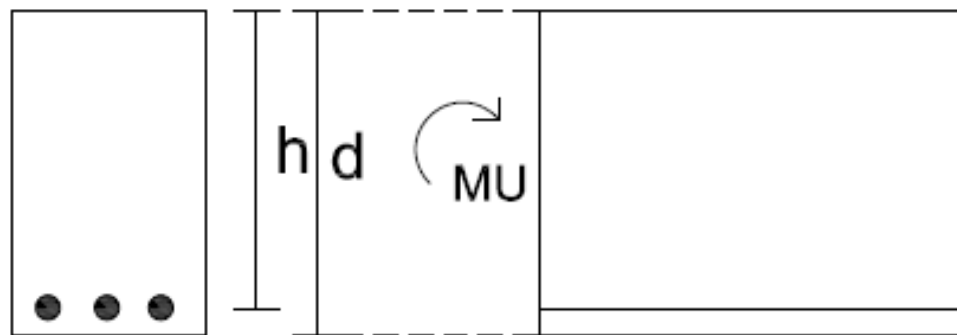
$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow C = T \quad C = b * x * \sigma'_{bc}$$

$$T = A * \sigma_{ek} \Rightarrow b * x * \sigma'_{bc} = A * \sigma_{ek}$$

$$A = \frac{M * U}{z * \sigma_{ek}} \quad \textcircled{1}$$

$$x = \frac{A * \sigma_{ek}}{b * \sigma'_{bc}} \quad \textcircled{2}$$

# HORMIGÓN ARMADO



$b$

$$\text{Si } z = 0.9 h \Rightarrow x \leq 0.20 h$$

$$\text{Si } z = 0.8 h \Rightarrow x \leq 0.40 h$$

$$x = \frac{A * \sigma_{ec}}{b * \sigma'_{bc}} \leq 0.40 * h$$

$$x = \frac{A * \sigma_{ec}}{b * \sigma'_{bc}} \geq 0.05 * h$$

CUANTÍA MÁXIMA

$$\frac{A_{max}}{b * h} = \frac{0.40 * \sigma_{bc}}{\sigma_{ek}}$$

CUANTÍA MÍNIMA

$$\frac{A_{min}}{b * h} = \frac{0.05 * \sigma_{bc}}{\sigma_{ek}}$$



## Procedimiento para Dimensionar a Flexión Simple

I – Predimensionar la sección ( adoptar **h** y **b**)

II – Adoptar

$$z = 0.9 * h$$

III – Calcular la armadura (A) con la expresión 1

IV – Calcular la profundidad del eje neutro (x) en el instante de la rotura con la expresión 2

V – Verificar que sea

$$(x) \leq 0.20 * h$$

Si esto último no verifica existen 3 opciones:

# HORMIGÓN ARMADO

Opción 1: Aumentar la altura **h** , y repetir el procedimiento (pasos II a V)

Opción 2: Aumentar el ancho **b** (en vigas), y repetir los pasos IV y V indicados.

Opción 3: Mantener la sección inicial y adoptar  $z = 0.8 * h$

Luego, calcular la armadura (A) con la expresión 1

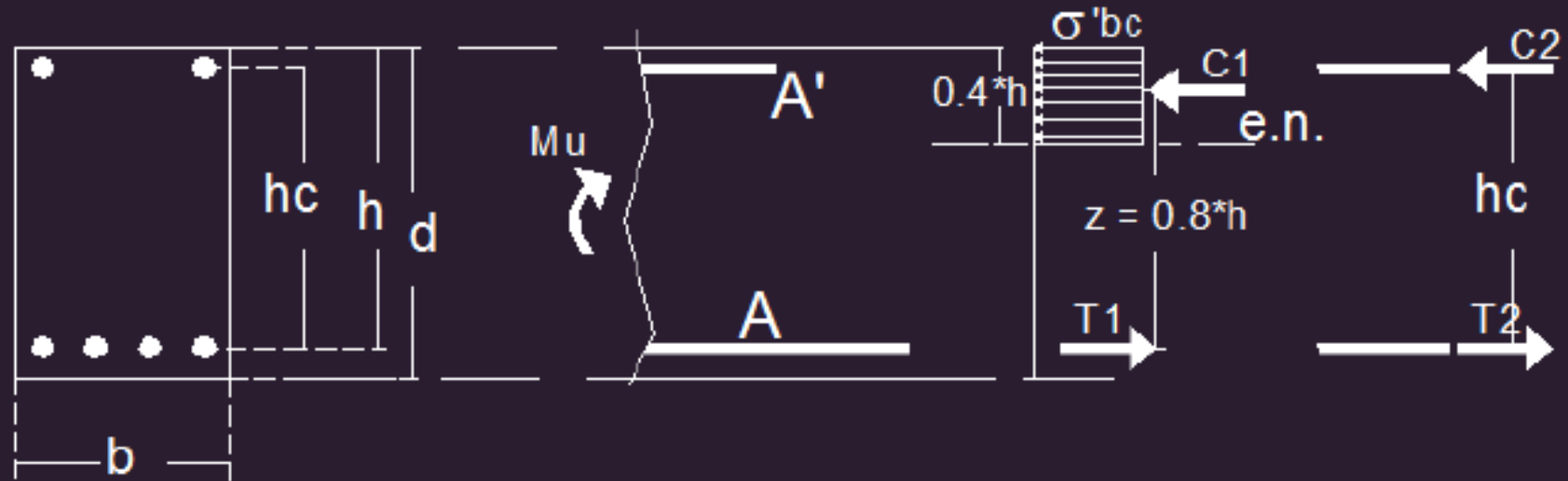
Calcular la profundidad del eje neutro (x) en el instante de la rotura con la expresión 2

Finalmente, verificar que sea  $(x) \leq 0.40 * h$



# HORMIGÓN ARMADO

## SECCIONES DOBLEMENTE ARMADAS



$$M_u = M \cdot \psi = M_{u1} + M_{u2}$$

$$M_{u1} = 0.32 \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma_{bc}$$

$$A_1 = \frac{0.40 \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{bc}}{\sigma_{ek}}$$

$$A_2 = \frac{M_{u2}}{h_c \cdot \sigma_{ek}}$$

$$A = A_1 + A_2$$

$$A' = A_2$$