

## Estudio general del cálculo en secciones en agotamiento

### 1. Consideraciones generales

El estudio de las secciones de hormigón armado tiene por objeto comprobar que bajo las diferentes solicitaciones mayoradas, con los coeficientes anteriormente establecidos, la pieza no supera ninguno de los estados límites suponiendo que los materiales que los forman (acero y hormigón) tengan una resistencia de cálculo minorada con los coeficientes también reseñados.

| CLASES DE SOLICITACION       |                        |         |       |           |       |             |
|------------------------------|------------------------|---------|-------|-----------|-------|-------------|
| Solicitación                 | COMPONENTE DE ESFUERZO |         |       |           |       |             |
|                              | Normal<br>N            | Flector |       | Cortante  |       | Torsor<br>T |
|                              |                        | $M_x$   | $M_y$ | $V_x$     | $V_y$ |             |
| Flexión pura                 |                        | X       |       |           |       |             |
| Flexión simple               |                        | X       |       |           | X     |             |
| Flexión esviada              |                        | X       | X     | X         | X     |             |
| Compresión o tracción simple | X                      |         |       |           |       |             |
| Flexión compuesta recta      | X                      | X       |       |           | X     |             |
| Flexión compuesta esviada    | X                      | X       | X     | X         | X     |             |
| Torsión pura                 |                        |         |       |           |       | X           |
| Torsión y flexión            |                        | X       |       |           | X     | X           |
| Originan tensiones           | NORMALES               |         |       | TANGENTES |       |             |

Los métodos de cálculo no permiten el cálculo simultáneo en el estado de agotamiento de las secciones bajo solicitaciones normales y tangenciales (al contrario que en el caso de las estructuras metálicas), por lo que estas comprobaciones deberán realizarse de forma sucesiva.

En este tema estudiaremos el estado límite de agotamiento bajo solicitaciones normales.

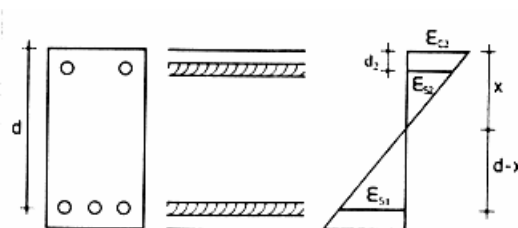
Establezcamos primero cuando se llega a alcanzar el estado límite de agotamiento:

- a) En piezas a tracción o flexión se alcanza cuando las armaduras tengan una deformación plástica excesiva que alcance un 10‰
- b) En piezas a flexión, cuando se produzca un aplastamiento de la zona comprimida del hormigón que llegue al 3.5‰
- c) En piezas a compresión simple o compuesta, cuando el aplastamiento del hormigón alcance una deformación del 2‰

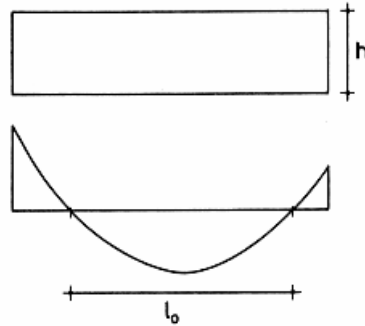
## 2. Hipótesis básicas para el cálculo de secciones sometidas a solicitaciones normales.

Bajo las diferentes solicitaciones ( tracción simple o compuesta, flexión simple o compuesta, compresión simple o compuesta) se puede alcanzar el estado de agotamiento de una sección y en este caso siempre se conocen, al menos, la deformación de dos fibras de dicha sección.

1. Bajo la acción de las solicitaciones las armaduras tienen la misma deformación que el hormigón que las envuelve.



2. Las deformaciones del hormigón siguen una ley plana (Ley de Bernouilli) para piezas en que la relación  $\frac{l_o}{h} > 2$ , siendo  $l_o$  la distancia entre puntos de momento nulo y  $h$  el canto de la sección.



Esta condición se expresa mediante las ecuaciones de compatibilidad de las deformaciones.

$$\frac{\varepsilon_{c2}}{x} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d-x} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x-d_2}$$

- siendo:  $\varepsilon_{c2}$  deformación unitaria de la fibra de hormigón más comprimida  
 $\varepsilon_{s1}$  deformación unitaria de la armadura más traccionada o menos comprimida  
 $\varepsilon_{s2}$  deformación unitaria de la armadura más comprimida o menos traccionada

Conocidas  $x$ ,  $d$ ,  $d_2$  y una de las tres deformaciones, las ecuaciones de compatibilidad de deformaciones permiten determinar las otras dos deformaciones.

$$\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{s1} \cdot \frac{x}{d-x} = \varepsilon_{s2} \cdot \frac{x}{x-d_2}$$

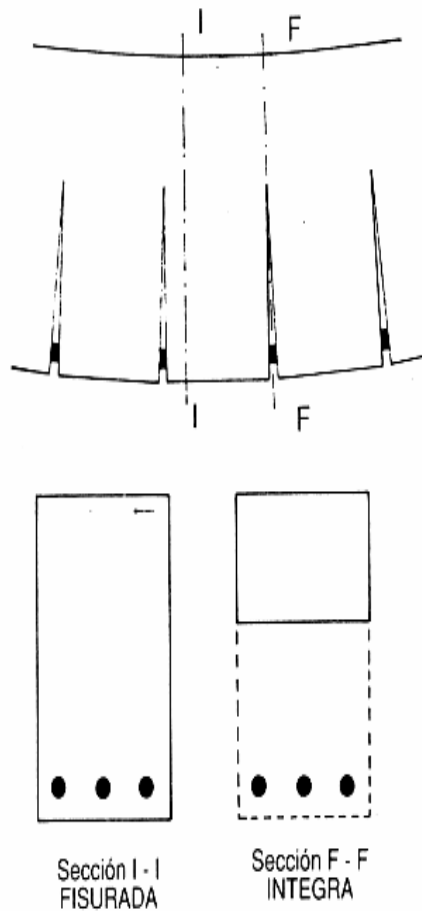
$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c2} \cdot \frac{d-x}{x} = \varepsilon_{s2} \cdot \frac{d-x}{x-d_2}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c2} \cdot \frac{x-d_2}{x} = \varepsilon_{s1} \cdot \frac{x-d_2}{d-x}$$

También se puede determinar la profundidad  $x$  de la línea neutra conocidas DOS de las tres deformaciones.

$$x = \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{s1}} \cdot d = \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{c2} - \varepsilon_{s2}} \cdot d_2$$

3. No se considera la resistencia a tracción del hormigón.



La razón es que el hormigón debe fisurarse para que la armadura traccionada pueda alcanzar la deformación que le permita desarrollar su capacidad resistente.

En estas condiciones en la pieza existen dos tipos de sección: la sección sin fisurar (íntegra) y la sección fisurada, en que el hormigón traccionado ya no existe y, consecuentemente, no puede resistir.

4. Se considera que la sección se agota por deformación plástica excesiva cuando las deformaciones del hormigón y del acero alcanzan los siguientes valores:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| En flexión simple o compuesta | $\varepsilon_{cu} = 0.0035 = 3.5 \text{ ‰}$  |
| En compresión simple          | $\varepsilon_{cu} = 0.0020 = 2.0 \text{ ‰}$  |
| En compresión compuesta       | $0.0020 \leq \varepsilon_{c2} \leq 0.0035$   |
| En cualquier caso             | $\varepsilon_{su} = 0.0100 = 10.0 \text{ ‰}$ |