

UNIDAD DIDÁCTICA IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL HORMIGÓN

PRETENSADO

LECCIÓN 19

DIMENSIONAMIENTO DE LA ARMADURA

ACTIVA

1. INTRODUCCIÓN
2. LIMITACIONES TENSIONALES
3. LIMITACIONES GEOMÉTRICAS
4. VARIACIÓN DE LA FUERZA DE PRETENSADO
5. COMPROBACIÓN DE SECCIÓN MÍNIMA
6. PRETENSADO MÍNIMO
7. NÚCLEO Y HUSO DE PASO
8. FUERZA DE TESADO
9. TRAZADO DE CABLES
10. DIAGRAMA DE DISEÑO
11. EJEMPLO

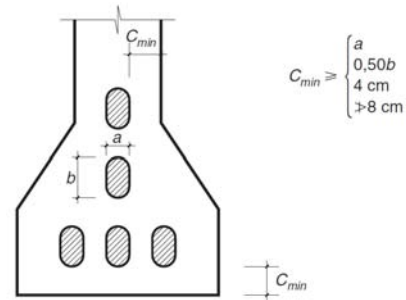
1. INTRODUCCIÓN

• OBJETIVO

- Dimensionar la armadura activa →
- Fuerza de tesado
 - Cables y su trazado

• LIMITACIONES

- **Tensionales (ELS Fisuración)**
- **Geométricas**
 - Recubrimientos → Art. 37.2.4
 - Separaciones → Art. 70.2.2
- **Variación de la fuerza de pretensado**



Suficiente carrera de pretensado $P_{\max} - P_{\min}$

Fuente: EHE-08, 2011

2. LIMITACIONES TENSIONALES

La existencia de la fuerza de pretensado obliga a realizar en las piezas de hormigón pretensado algunas comprobaciones tensionales, fundamentalmente en dos instantes: (i) en el de aplicación de la fuerza de pretensado (fase de tesado) y (ii) en el estado de servicio de las piezas (fase de servicio).

La estrategia para realizar el dimensionamiento de la armadura activa debe considerar las condiciones impuestas por las limitaciones relativas al ELS de Fisuración, bien limitando las tensiones máximas de compresión y de tracción, bien limitando la abertura de fisura.

Para limitar la fisuración por compresión se establece en la EHE-08 que en todas las situaciones persistentes y en las situaciones transitorias bajo la combinación más desfavorable de acciones correspondiente a la fase en estudio, las tensiones de compresión en el hormigón deben cumplir:

$$\sigma_c \leq 0,60 f_{ck,j}$$

siendo:

σ_c tensión de compresión del hormigón en la situación de comprobación

$f_{ck,j}$ valor supuesto en el proyecto para la resistencia característica a j días (edad del

hormigón en la fase considerada).

Para limitar la fisuración por tracción se establece que, para la combinación de acciones frecuentes y si la tensión de la fibra más traccionada supera la resistencia media a flexotracción $f_{ct,m,fl}$

$$W_k \leq W_{max}$$

donde:

W_k abertura característica de fisura

W_{max} abertura máxima de fisura en función de la clase de exposición

Para dimensionar la armadura activa resulta más sencillo establecer condiciones de tensiones, en lugar de aberturas de fisura, por lo que:

- a) en los casos con limitaciones de abertura de fisura $\rightarrow \sigma_c \geq -f_{ct,m,fl}$
- b) en los casos con estado límite de descompresión $\rightarrow \sigma_c \geq 0$

La existencia de diferentes estados de carga para una misma acción, y la posibilidad de que una carga pueda actuar o no en una combinación de acciones, hace que en una misma sección exista un valor máximo y otro mínimo para el momento flector para la combinación más desfavorable de acciones. Análogamente ocurre para la combinación de acciones frecuentes. En consecuencia, para dimensionar la armadura activa se utilizan unas condiciones tensionales que deben cumplir las fibras superior e inferior de la sección.

El estudio detallado de estas condiciones tensionales, así como de su significado geométrico (representación gráfica mediante el diagrama de Magnel), se desarrolla en las clases teóricas de la asignatura.

3. LIMITACIONES GEOMÉTRICAS

Son las limitaciones impuestas por los recubrimientos mínimos de los cables

$$e_o \leq e_{oMAX}$$

$$e_o \geq e_{oMIN}$$

Sección subcrítica: las limitaciones tensionales son más restrictivas que las geométricas

Sección supracrítica: alguna limitación geométrica es más restrictiva que las tensionales

4. VARIACIÓN DE LA FUERZA DE PRETENSADO

En una sección debe existir suficiente **carrera de pretensado** ($P_{\max}-P_{\min}$) para una excentricidad dada y dos situaciones:

P_{\max} En fase de tesado y desfavorable

P_{\min} A tiempo infinito y favorable

$$P_{\max} = \gamma_{p,des} \cdot (P_o - \Delta P_{ki}) = \gamma_{p,des} \cdot P_{ki}$$

$$P_{\min} = \gamma_{p,fav} \cdot (P_o - \Delta P_{ki} - \Delta P_{dif}) = \gamma_{p,fav} \cdot (P_{ki} - \Delta P_{dif})$$

$$k = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{\gamma_{p,des} \cdot P_{ki}}{\gamma_{p,fav} \cdot (P_{ki} - \Delta P_{dif})}$$

5. COMPROBACIÓN DE SECCIÓN MÍNIMA

Sección mínima o suficiente es aquella sección en la que se cumplen las limitaciones tensionales de manera simplificada (calculadas en sección bruta), estableciéndose las siguientes condiciones entre las pendientes de las rectas:

$$P_{\max} > k P_{\min} \rightarrow 1/P_{\min} > k 1/P_{\max}$$

De estas condiciones surgen ocho casos posibles, de los cuales dos son de sección insuficiente y otros dos de sección suficiente, en todo el espacio de diseño. Estos ocho casos se exponen en las clases teóricas de la asignatura.

En la práctica, la sistemática para comprobar si una sección es mínima o suficiente es:

- 1º) Establecer los límites de las tensiones ($\sigma_{c1,i}$ $\sigma_{c1,s}$ $\sigma_{c2,i}$ $\sigma_{c2,s}$)
- 2º) Calcular los momentos flectores máximo y mínimo producidos por la combinación de acciones exteriores más desfavorable o poco probable (M_{\max} , M_{\min}) y por la combinación frecuente (M^F_{\max} , M^F_{\min})
- 3º) Calcular m_1 m_2 m_3 m_4 (independientes de los M_H)
- 4º) Establecer un valor de k en función de las pérdidas diferidas de pretensado estimadas (suele adoptarse $k = 1,438$)
- 5º) Comprobar **sección mínima**: si cumple las tensiones simplificadas (si los pares de rectas I-III y II-IV cumplen simultáneamente alguna de sus condiciones)

Si la sección fuera insuficiente habría que modificarla para obtener unos valores $(I/v_1, -I/v_2)$ mayores que los mínimos requeridos por las condiciones de suficiencia.

6. PRETENSADO MÍNIMO

La fuerza de pretensado mínima P_{\min} es la más pequeña posible tal que:

$$P_{\max} \geq k P_{\min} \quad \text{y} \quad e_{o\text{MIN}} < e_{op} < e_{o\text{MAX}}$$

El objetivo es hallar P_{\min} y su excentricidad e_{op} (P_{\max} se obtendría sustituyendo e_{op} en la recta correspondiente).

De estas condiciones surgen cuatro casos: tres -casos A, B y C- de sección **subcrítica** (la excentricidad del pretensado está dentro del intervalo impuesto por las limitaciones geométricas: $e_{o\text{MIN}} < e_{op} < e_{o\text{MAX}}$), y uno -caso D- de sección **supracrítica** si no se cumple lo anterior (la excentricidad del pretensado está condicionada por las limitaciones geométricas de la sección). Estos cuatro casos se exponen en las clases teóricas de la asignatura.

7. NÚCLEO Y HUSO DE PASO

El **núcleo de paso** es la zona de una sección por donde puede pasar el cable verificándose las limitaciones tensionales. Conviene advertir que el núcleo de paso se utiliza como ayuda al diseño, por lo que no es una comprobación a realizar.

El **huso de paso** se define como el lugar geométrico de los núcleos de paso.

8. FUERZA DE TESADO

Para cada sección determinante (x) se calcula la fuerza de tesado máxima y mínima:

$$P_{o,\min}(x) = P_{\min}(x)/\gamma_{p,\text{fav}} + \Delta P_{ki}(x) + \Delta P_{dif}(x)$$

$$P_{o,\max}(x) = P_{\max}(x)/\gamma_{p,\text{des}} + \Delta P_{ki}(x)$$

La fuerza de tesado P_o a disponer debe cumplir la siguiente condición

$$\max[P_{o,\min}(x)] \leq P_o \leq \min[P_{o,\max}(x)]$$

Fijado P_o podría representarse, si se desea, el núcleo de paso de cada sección y, por tanto, el huso de paso de la estructura. Esto se desarrolla con más detalle en las clases teóricas de la asignatura.

9. TRAZADO DE CABLES

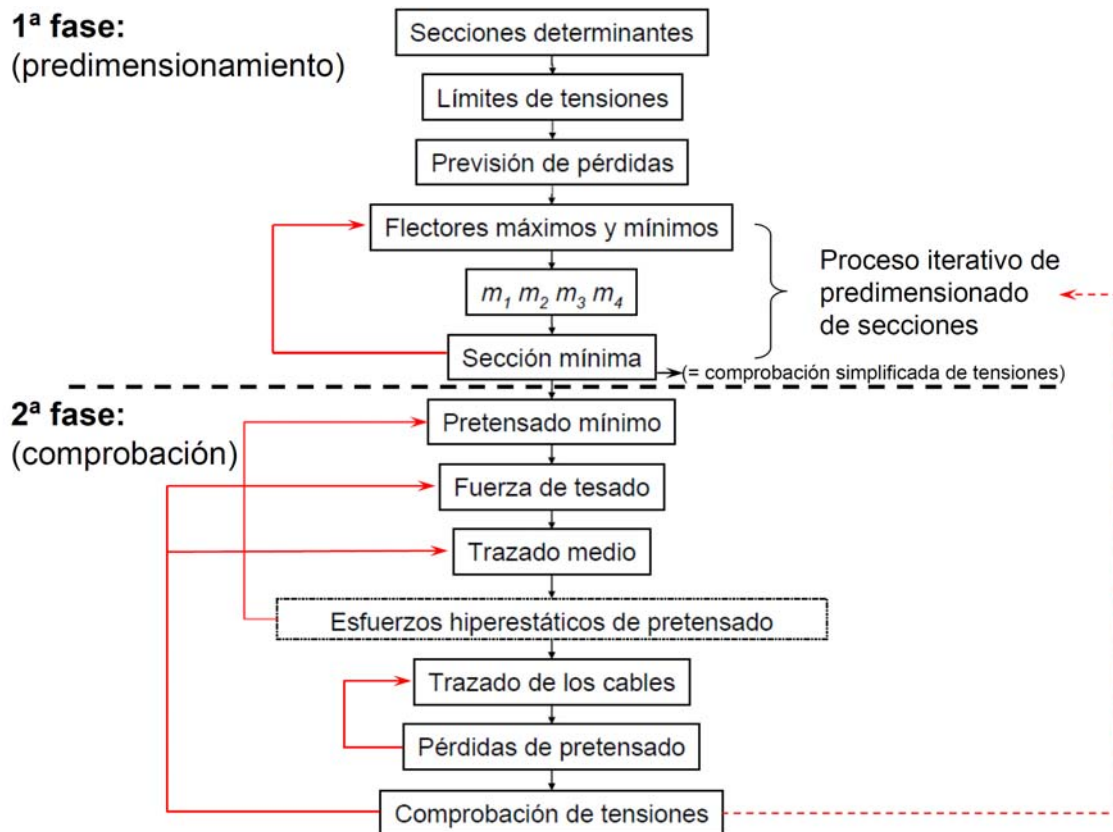
El trazado de los cables es **parabólico**, siendo, para vigas **biapoyadas** de luz L , una parábola del tipo $y = 4e(x/L)^2$ y, para vigas **continuas**, una consecución de parábolas combinadas i de longitud L_i del tipo $y_i = (e_i/L_i^2)x^2$, que se obtienen fijando los puntos de paso/tangencia.

El origen de coordenadas puede ir cambiando en cada parábola combinada para simplificar su ecuación, pues lo que realmente importa para el cálculo son sus derivadas.

Estos dos casos (biapoyado y continuo) se desarrollan con más detalle en las clases teóricas de la asignatura.

10. DIAGRAMA DE DISEÑO

A modo de resumen, se puede establecer el siguiente diagrama de diseño dividido en dos fases independientes, una de predimensionamiento y otra de comprobación



11. EJEMPLO

Armadura activa postesa en viga biapoyada de 25 m de luz (Bonet *et al*, 2011).

Se desarrolla en las clases prácticas de ejercicios de la asignatura.