



tema 25

TECNOLOGÍA DEL PRETENSADO

Luis Bañón Blázquez
Profesor Colaborador
DICOPIU



OBJETIVOS

- ▶ Conocer los **fundamentos** de la tecnología del hormigón pretensado
- ▶ Definir la **terminología** empleada en sistemas estructurales de hormigón pretensado
- ▶ Describir los **tipos de pretensado** existentes en función de diferentes **criterios de clasificación**
- ▶ Plantear las **hipótesis básicas** a utilizar en el cálculo de elementos pretensados
- ▶ Deducir el **trazado adecuado** de los tendones



CONTENIDOS

1. Fundamentos
2. Objetivos del pretensado
3. Terminología del pretensado
4. Tipos de pretensado
5. Hipótesis de cálculo
6. Trazado de armaduras activas
7. Esfuerzos de pretensado

1. FUNDAMENTOS

- ▶ Fue desarrollado por **Eugène Freyssinet** a principios del Siglo XX → Desarrollo teórico y diseño de puentes
- ▶ En España fue **Eduardo Torroja** quien lo introdujo
- ▶ Ambos fundaron en 1952 la **Federación Internacional del Pretensado (FIP)**, organismo técnico regulador
- ▶ Se emplea con profusión en países industrializados, especialmente en:
 - ▶ **Industria de prefabricación:** Viguetas, placas alveolares, muros prefabricados, etc.
 - ▶ **Grandes obras civiles:** Viaductos, cubiertas de grandes luces, depósitos, reactores de centrales nucleares, etc.

1. FUNDAMENTOS

▶ Principio físico del pretensado

Técnica empleada para **mejorar el comportamiento** de un material o estructura **introduciendo tensiones previas** a su puesta en carga

▶ Aplicaciones convencionales:

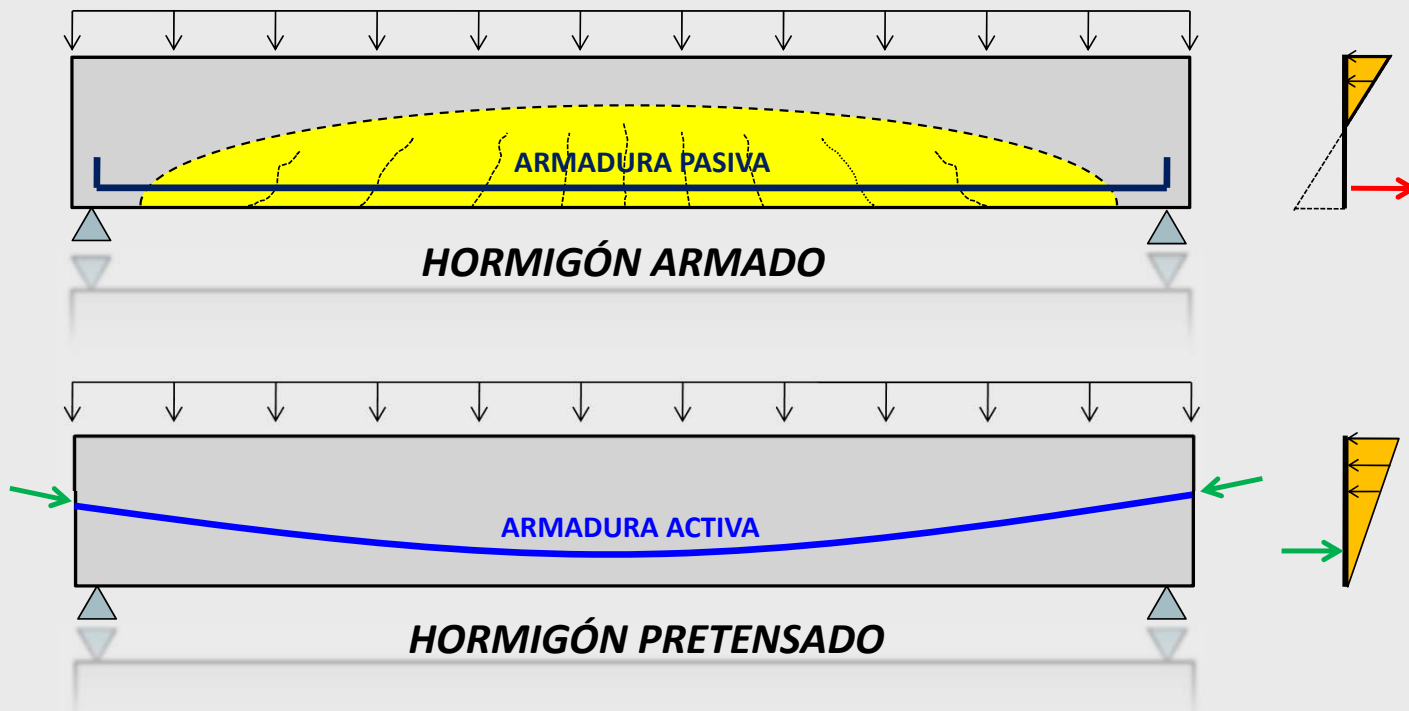
- ▶ Sierra de arco
- ▶ Rueda de bicicleta
- ▶ Barril de madera
- ▶ Bloque de libros



1. FUNDAMENTOS

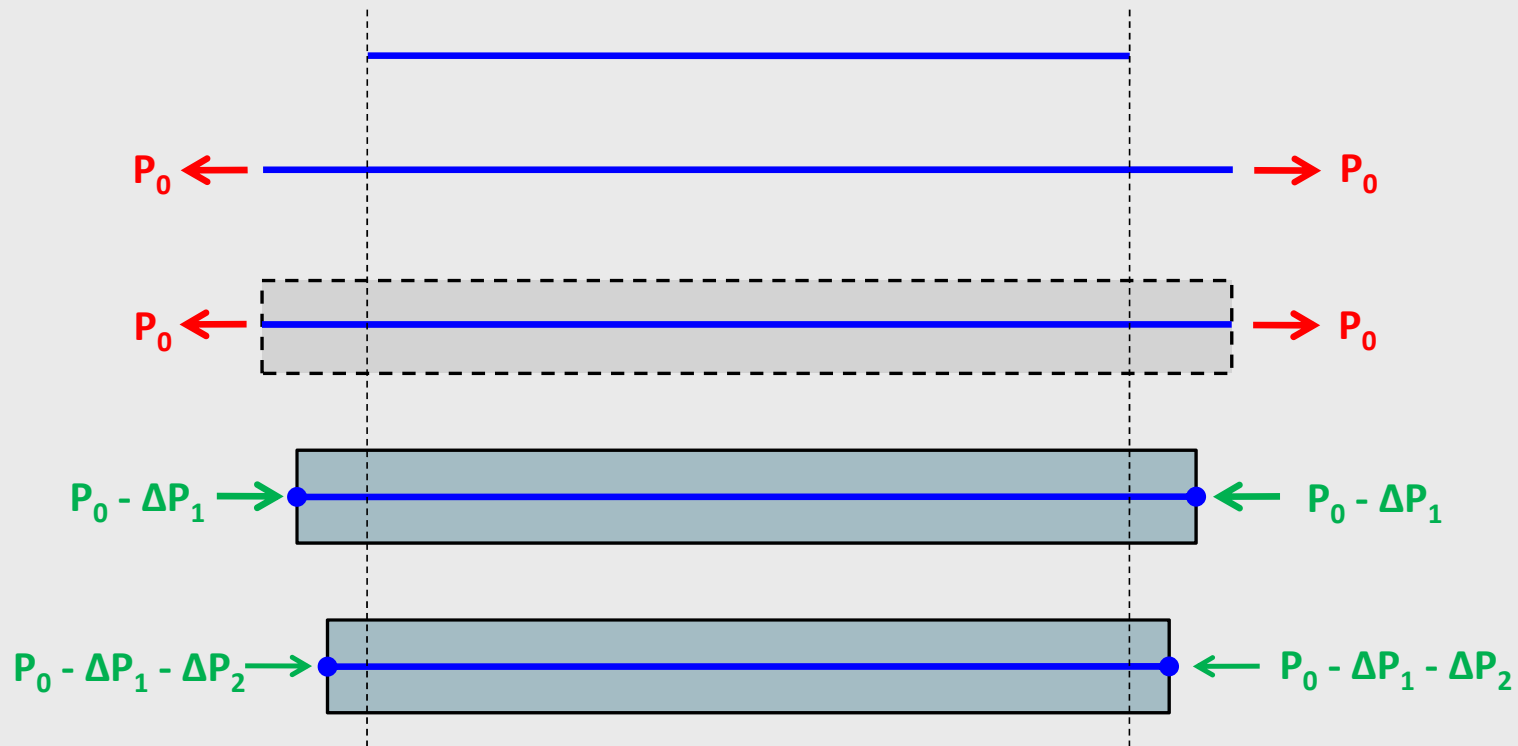
► Aplicación tecnológica

Introducción de una **presolicitación** para que el hormigón trabaje a compresión con las cargas previstas de proyecto



1. FUNDAMENTOS

► Esquema del proceso de pretensado:



2. OBJETIVOS DEL PRETENSADO

- ▶ **Objetivos y ventajas** del pretensado:
 - ▶ **Optimizar la forma de trabajo** del hormigón y el aprovechamiento del material
 - ▶ **Aumentar la durabilidad** de la estructura, al no existir fisuración o ser muy baja
 - ▶ Permitir **salvar grandes luces**, al incrementar la relación resistencia/peso propio
 - ▶ Obtener **menores deformaciones** y flechas máximas en estructuras
 - ▶ Mejorar la resistencia frente a **cargas cíclicas**
 - ▶ Dotar de **mayor estanqueidad** a la estructura

2. OBJETIVOS DEL PRETENSADO

- ▶ **Inconvenientes** del pretensado:
 - ▶ **Técnica menos extendida** que la del hormigón armado, especialmente en edificación
 - ▶ **Evolución de sus propiedades mecánicas en el tiempo** por fenómenos de fluencia y relajación de los materiales estructurales
 - ▶ Mayor probabilidad de sufrir **corrosión bajo tensión**
 - ▶ **Baja resistencia a tracción**, con rotura frágil
 - ▶ **Peor comportamiento frente al fuego** que en estructuras de hormigón armado

3. TERMINOLOGÍA

- ▶ **Tendón**
Conjunto de armaduras activas que tiene un **único trazado** y que se pone en carga en una sola operación
- ▶ **Tesado**
Operación de **puesta en carga inicial** de la armadura activa
- ▶ **Retesado**
Operación para **incrementar la fuerza** de un tendón ya tesado
- ▶ **Destesado**
Proceso de **reducción de la fuerza** de pretensado en uno o varios tendones
- ▶ **Anclado**
Acción de **fijar la armadura activa** al hormigón una vez ha sido tesada para transferir los esfuerzos de compresión al hormigón

4. TIPOS DE PRETENSADO

- ▶ El pretensado puede clasificarse siguiendo diversos **criterios**: [Art. 20.1.2]
 - ▶ Por el **momento de aplicación** de la fuerza de pretensado respecto del hormigonado de la pieza
 - ▶ Por la **posición** de las armaduras activas o **tendones** respecto de la sección transversal del elemento
 - ▶ Por el **tipo de trazado** de las armaduras activas
 - ▶ Por las **condiciones de adherencia** del tendón
 - ▶ Por la generación de **reacciones adicionales** en los apoyos debidas exclusivamente al pretensado

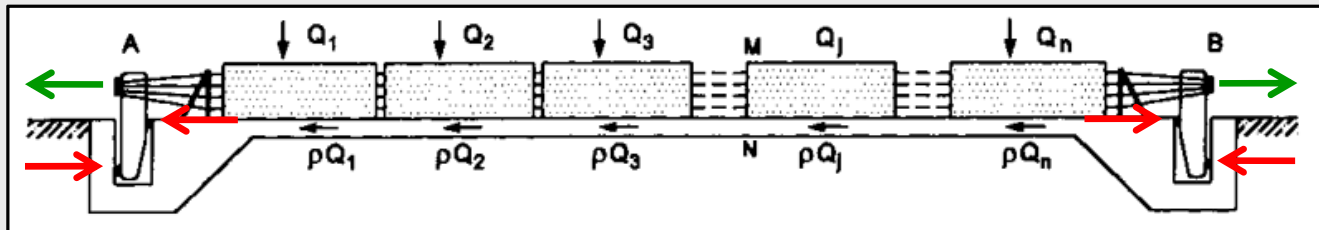
4. TIPOS DE PRETENSADO

- ▶ Clasificación según el **momento del tesado del cable** respecto del hormigonado del elemento:
 - ▶ Con armaduras **pretesas**:
 - ▶ Las armaduras se tesan **antes del hormigonado**
 - ▶ Transmiten la fuerza de pretensado por **adherencia**
 - ▶ Se emplea en **prefabricación** industrial
 - ▶ Con armaduras **postesas**:
 - ▶ Las armaduras se tesan **después del hormigonado**
 - ▶ Las armaduras van alojadas en conductos o **vainas**
 - ▶ Se emplea en elementos ejecutados **in situ**

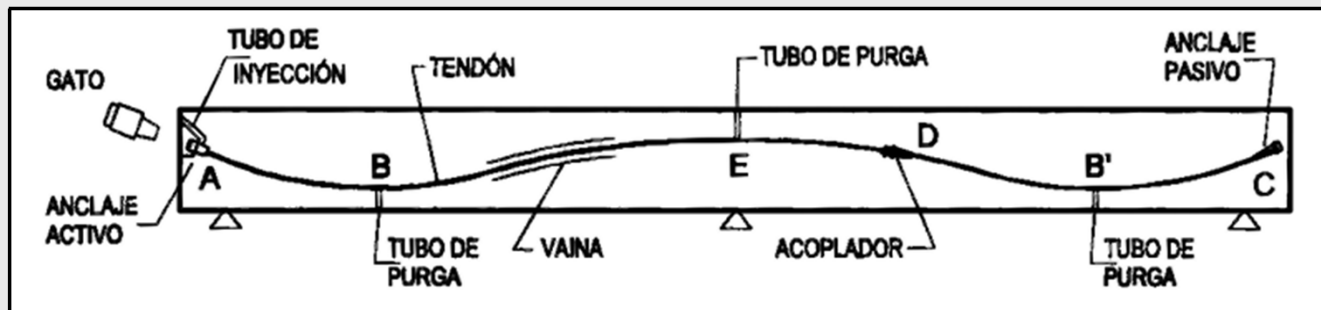
4. TIPOS DE PRETENSADO

► **Elementos** de un sistema de pretensado:

► Con armaduras **pretensas**:



► Con armaduras **postesas**:

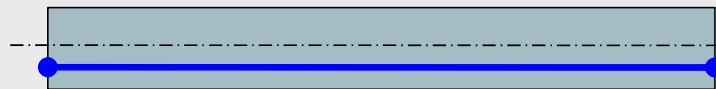


4. TIPOS DE PRETENSADO

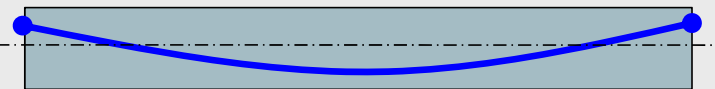
- ▶ Clasificación según la **posición de las armaduras activas** respecto del elemento:
 - ▶ **Interior:**
 - ▶ El tendón queda **embebido** en el hormigón
 - ▶ Procedimiento habitual en hormigón con **armaduras pretesas**
 - ▶ **Exterior:**
 - ▶ El tendón se coloca **fuera** de la sección ocupada por el hormigón y **dentro del canto** de la misma
 - ▶ Permite la **inspección de las armaduras** durante su vida útil y un eventual **retesado**

4. TIPOS DE PRETENSADO

- ▶ Clasificación según el **tipo de trazado** de los tendones:
 - ▶ **Uniforme:**
 - ▶ La armadura activa se halla a la **misma distancia** del centro de gravedad de la sección en toda la pieza
 - ▶ **Variable:**
 - ▶ La armadura activa **varía su posición** con respecto al centro de gravedad de la sección a lo largo de la pieza
 - ▶ Empleado con **armaduras postesas**



Trazado uniforme



Trazado variable

4. TIPOS DE PRETENSADO

- ▶ Clasificación según las **condiciones de adherencia** de la armadura activa:
 - ▶ **Adherente:**
 - ▶ El tendón queda **totalmente adherido** al hormigón, transfiriendo la fuerza de pretensado por **rozamiento**
 - ▶ Se da en el hormigón con **armaduras pretesas**, y con **postesas** si se emplean **inyecciones adherentes**
 - ▶ **No adherente:**
 - ▶ El tendón **no se vincula** al hormigón, transfiriendo la fuerza de pretensado a través de los **anclajes**
 - ▶ Se da en el hormigón con **armaduras postesas** si se emplean **inyecciones no adherentes**

4. TIPOS DE PRETENSADO

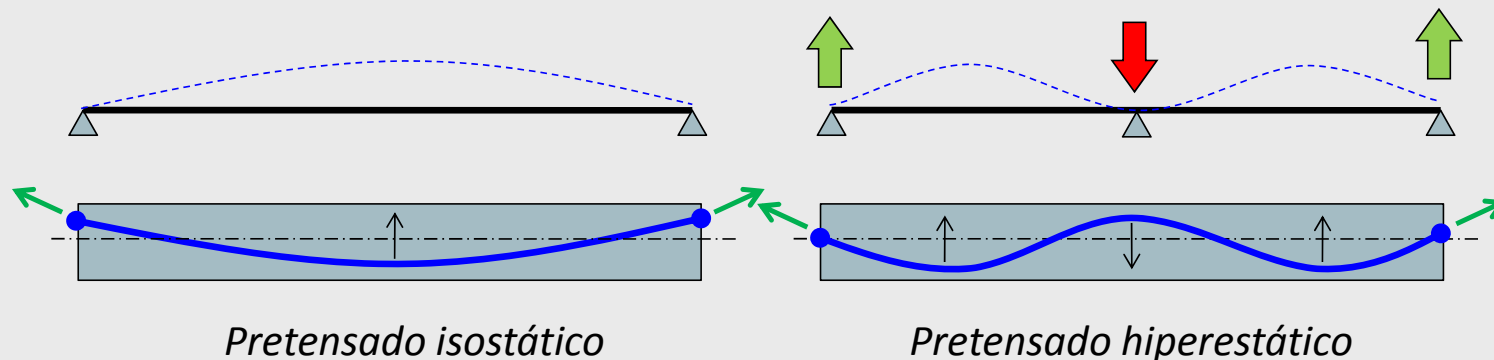
- ▶ Clasificación por la generación de **reacciones adicionales** en los apoyos debidas al pretensado:

- ▶ **Isostático:**

- ▶ No aparecen reacciones adicionales en los apoyos

- ▶ **Hiperestático:**

- ▶ Aparecen reacciones adicionales en los apoyos



5. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

- ▶ **Fases de cálculo** de elementos pretensados:
 - ▶ **Diseño inicial** de la pieza pretensada:
 - ▶ En esta fase se determinan:
 - ▶ **Características geométricas y resistentes** de la sección
 - ▶ **Fuerza de pretensado** necesaria y trazado de las armaduras activas
 - ▶ En los cálculos se emplean **acciones no mayoradas** y el valor de la **sección bruta** de hormigón
 - ▶ Acción de pretensado con coeficiente de seguridad $\gamma_p=1$
 - ▶ **Comprobación** de secciones para ELU y ELS:
 - ▶ Se emplean los parámetros indicados por la EHE

5. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

- ▶ De cara a este curso sólo se abordará la **fase de diseño inicial** con las siguientes simplificaciones:
 - ▶ Comportamiento **elástico y lineal** de la estructura
 - ▶ Fuerza de pretensado **constante** en la pieza (despreciando el efecto del rozamiento interno del tendón)
 - ▶ Si hay varios cables o tendones, se trabaja con el **trazado medio** del cable o tendón equivalente
 - ▶ En general, para los **bajos ángulos** habituales del cable (α) respecto a la directriz, se puede suponer que **$\cos \alpha \approx 1$** y **$\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$**
 - ▶ Pueden emplearse las características de la **sección bruta** de hormigón, en lugar de la sección neta

5. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

▶ **Limitaciones tensionales** en el hormigón para ELS:

▶ Superior: E.L. de **Fisuración**: $\sigma_c \leq 0,60 \cdot f_{ck,j}$ [Art. 49.2.1]

▶ Inferior: E.L. de **Descompresión**: $\sigma_c \geq \sigma_{min} = 0$ [Art. 49.2.2]

▶ **Limitación** de la fuerza de pretensado inicial P_0 :
[Art. 20.2.1]

▶ Inferior al menor de los dos valores siguientes:

$$0,75 f_{p \max k} ; 0,90 f_{pk}$$

▶ De forma temporal (durante el tesado) puede llegar a:

$$0,85 f_{p \max k} ; 0,95 f_{pk}$$

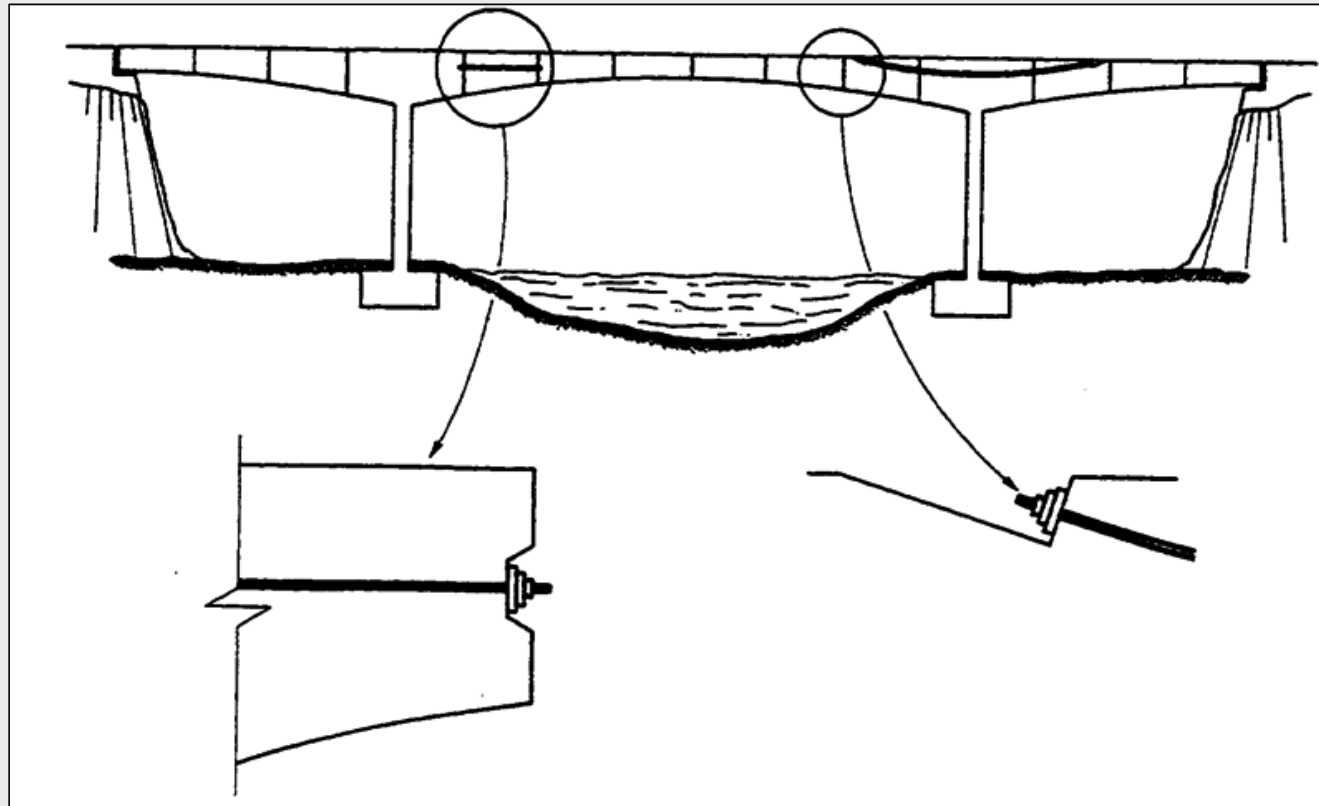
siendo $f_{p \max k}$ la carga unitaria máxima característica
 f_{pk} el límite elástico característico

6. TRAZADO DE ARMADURAS

- ▶ El **trazado** de los tendones deberá tratar de:
 - ▶ **Minimizar la compresión** máxima
 - ▶ **Evitar que aparezcan tracciones** en cualquier fibra de la sección (o que éstas sean admisibles)
 - ▶ Tener en cuenta todas las **situaciones de cálculo** de la estructura
- ▶ **Estrategias de trazado** de armaduras activas:
 - ▶ Anclajes **parciales**
 - ▶ Trazado **variable** (no uniforme)
 - ▶ Empleo de zonas **no adherentes** (prefabricación)



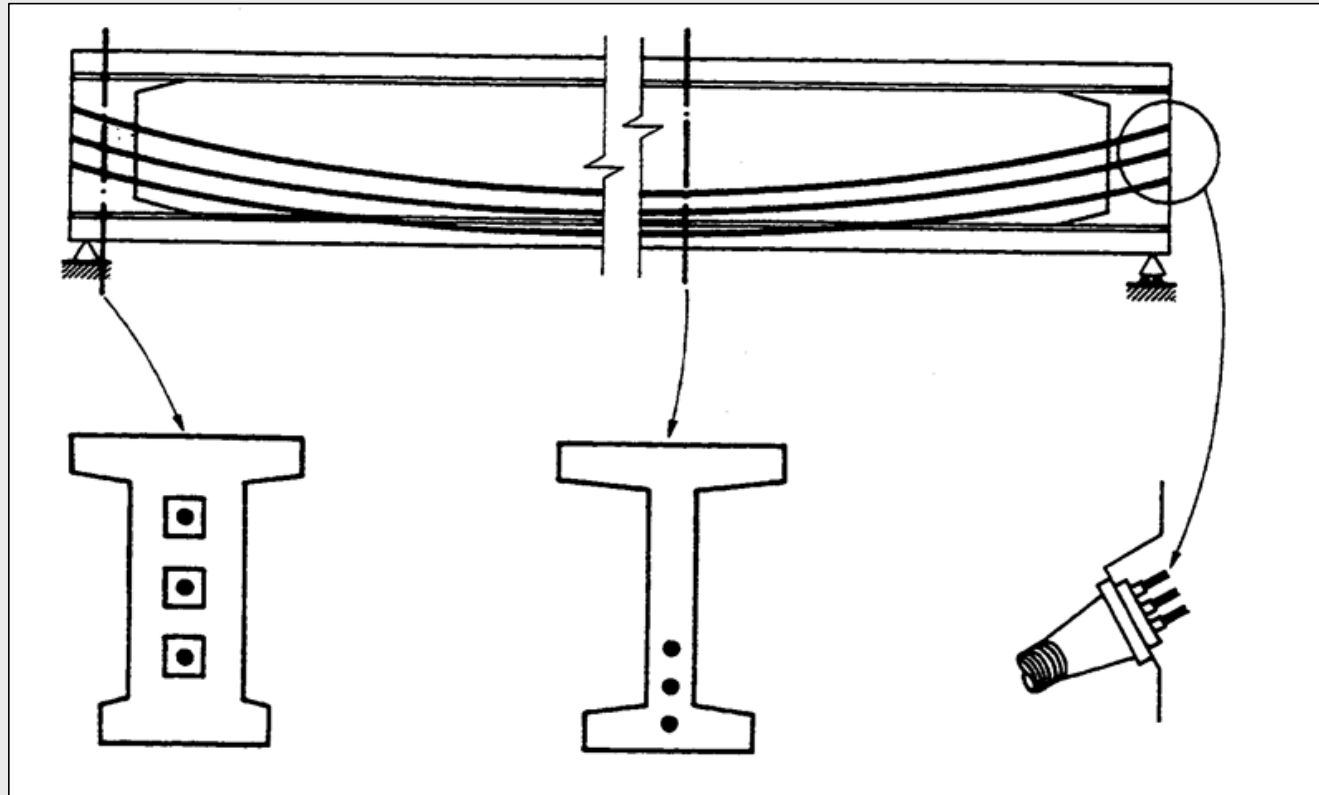
6. TRAZADO DE ARMADURAS



ANCLAJES PARCIALES

Puente por voladizos sucesivos con dovelas prefabricadas

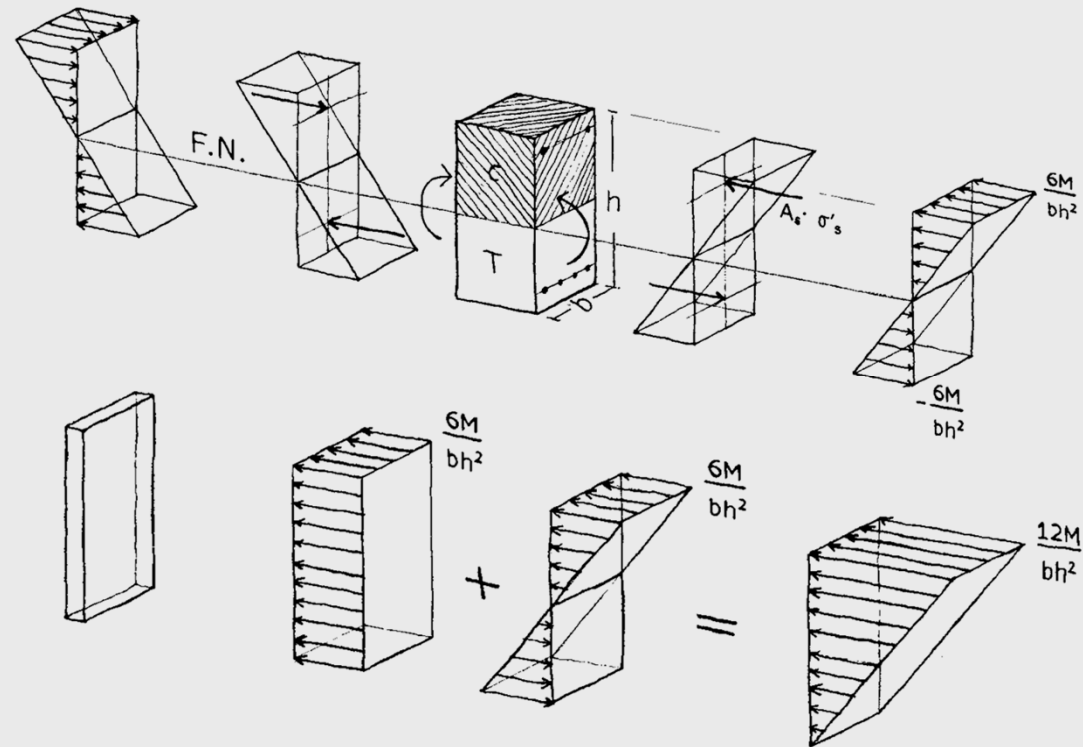
6. TRAZADO DE ARMADURAS



TRAZADO VARIABLE
Viga recta con armadura postesa

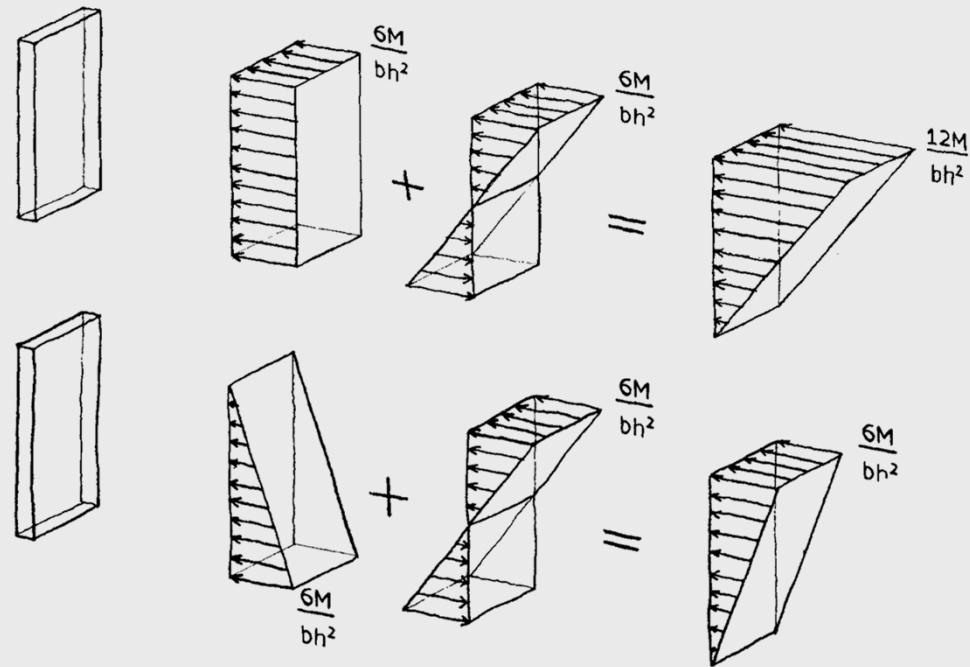
6. TRAZADO DE ARMADURAS

- **Análisis comparativo** de las tensiones existentes en una **sección armada** y otra **pretensada**:



6. TRAZADO DE ARMADURAS

- Análisis comparativo** de las tensiones existentes en una sección con **pretensado central o baricéntrico** y otra con **pretensado excéntrico**:



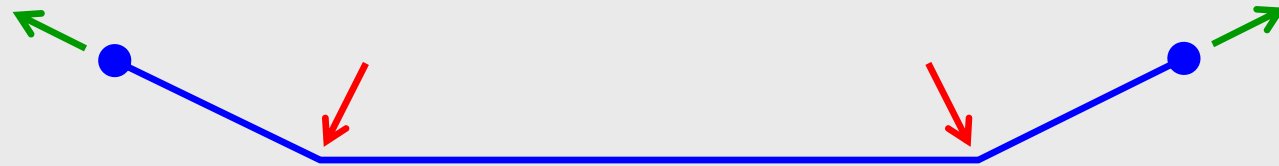
6. TRAZADO DE ARMADURAS

- ▶ **Tipos de trazado** empleados habitualmente:

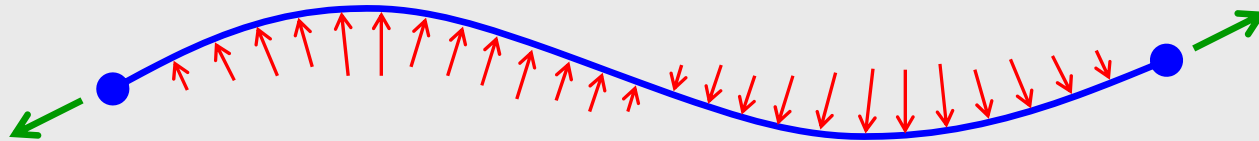
- ▶ Trazado **rectilíneo**:



- ▶ Trazado **poligonal**:

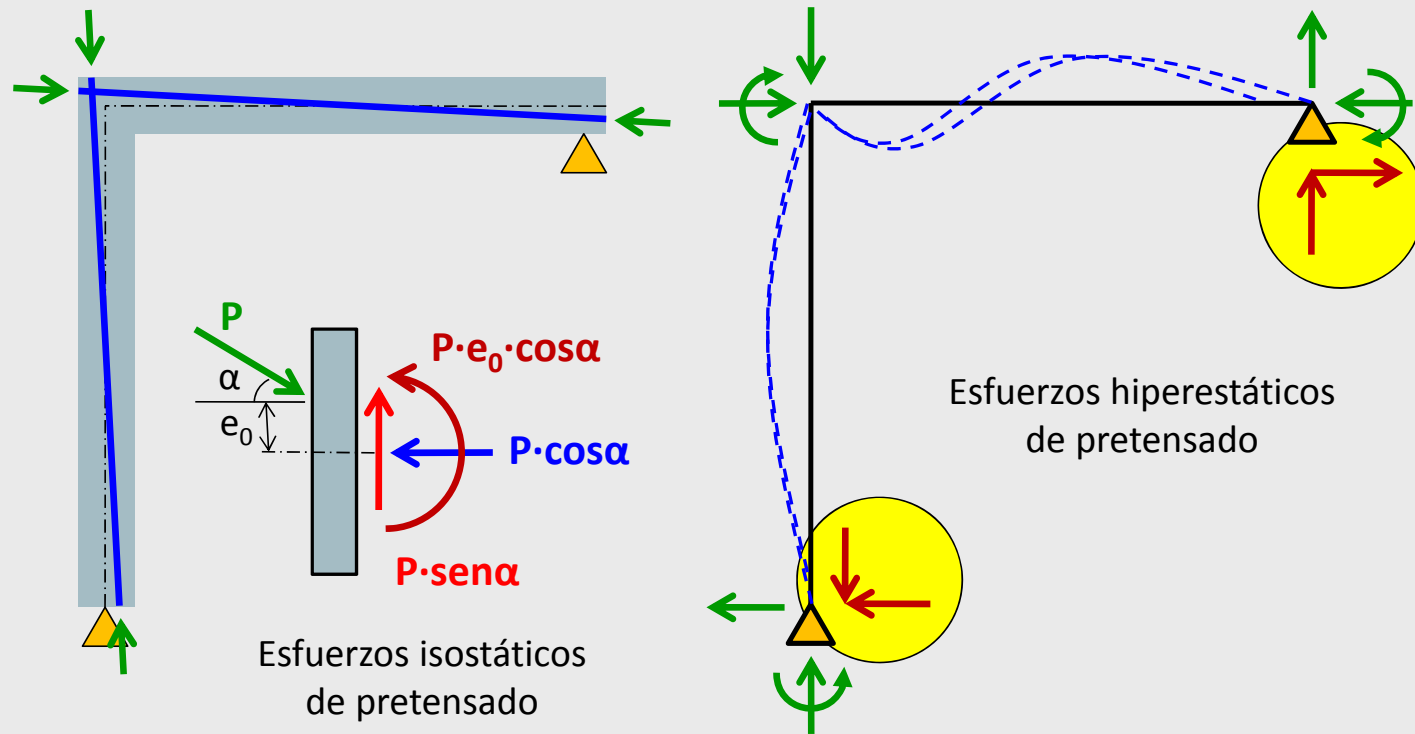


- ▶ Trazado **parabólico**:



7. ESFUERZOS DE PRETENSADO

- ▶ Se aplica el sistema de fuerzas del cable como si fueran **exteriores**:



7. ESFUERZOS DE PRETENSADO

- **Esfuerzos totales del pretensado** sobre la estructura:
(isostáticos + hiperestáticos)

