

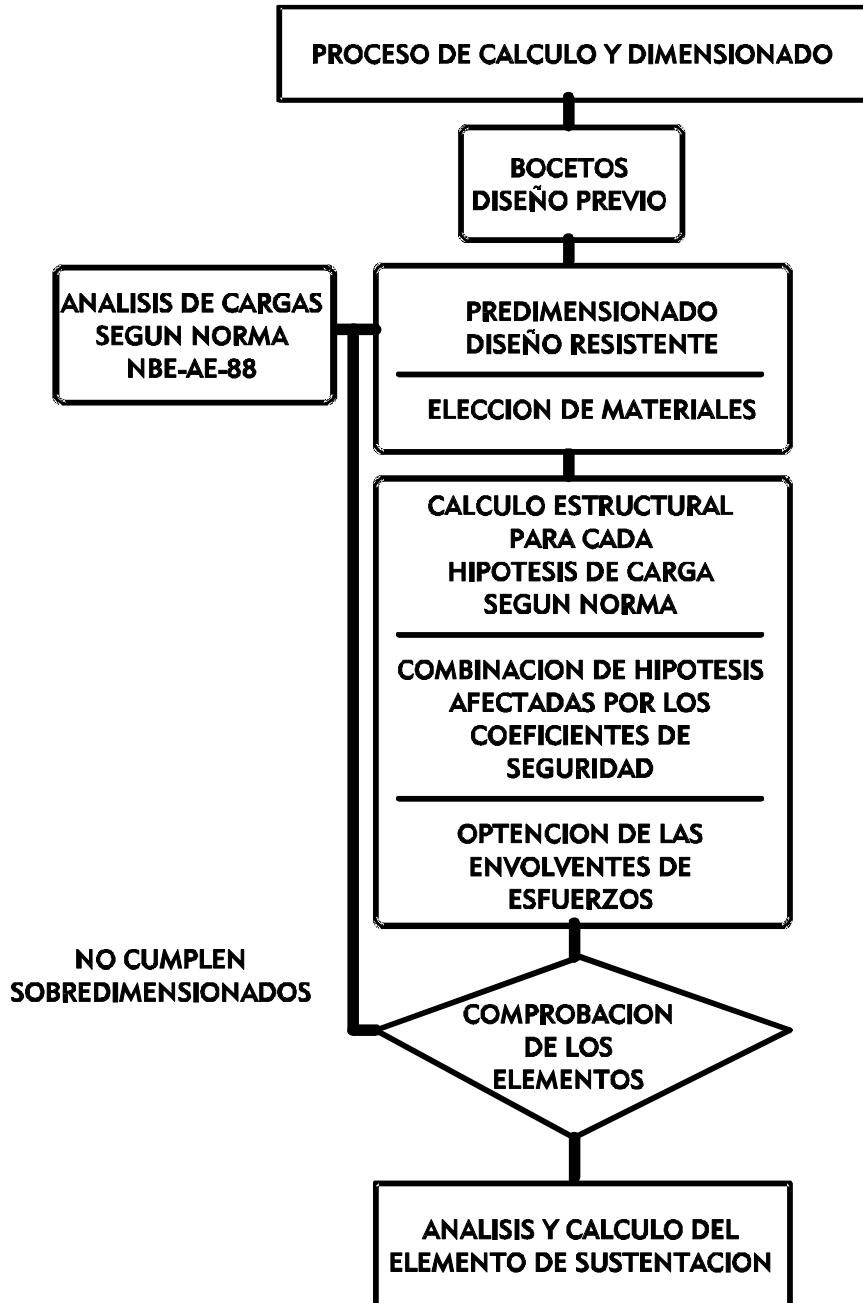


INTRODUCCIÓN AL DIMENSIONADO EN ACERO ESTRUCTURAL

Autor: Javier Pajón Permuy

INTRODUCCION.

Las pautas a seguir para calcular un elemento estructural depende como es lógico del material con que esté construido y del método empleado, mostramos un esquema de como es generalmente este proceso:



Con la única pretensión de dar a conocer muy sucintamente como se calculan algunos elementos estructurales simples que forman parte del proyecto, como son pequeñas estructuras formadas por vigas y pilares, de acero o madera...

Se recogen en las páginas siguientes algunas consideraciones que deberán tenerse en cuenta al dimensionar pequeñas estructuras formadas por vigas y pilares de acero, para análisis más meticulosos se deberá revisar las Normas Básicas de obligado cumplimiento, según el caso.

Se quiere aclarar que el objeto de estos apuntes no es el de formar expertos en los distintos temas planteados, dado la complejidad de los mismos y que lógicamente deberían ser abordados con más tiempo y rigor. Se pretende dar a conocer algunas pautas y criterios a seguir que sin duda ayudarán a entender el problema y a valorar la importancia que tiene en la sociedad, en cuanto que repercute en su seguridad, economía y bienestar.

Comencemos por un elemento muy común y conocido, no por ello complejo y difícil de analizar en muchos casos, -las vigas-, también llamadas según su uso, posición, material u otros criterios; cargaderos, jácenas, correas, viguetas, ménsulas, etc. Trataremos solo las de acero laminado.

VIGAS

Atendiendo a la forma de estar constituidas las vigas de acero se clasifican como se indica a continuación:

- De alma llena.
 - De perfiles.
 - Perfil simple.
 - Viga múltiple.
 - Perfil reforzado.
 - Armada.
 - En I.
 - En cajón.
- De alma aligerada.
- De celosía.

Para el estudio de vigas de alma aligerada y de celosía se remite al alumno a obras más especializadas. Abordaremos el problema de las vigas de alma llena, que ha de ser posible se resolverán mediante perfiles laminados.

CÁLCULO.

Los perfiles que mas se utilizan para la ejecución de las vigas son los de forma de I (doble te) - IPN o IPE, normalizados en la NBE-EA-95-, de altura mayor que la anchura de las alas. Solo cuando por razones constructivas se precise un canto mas reducido, se emplearán perfiles en H, pues a igual modulo de sección tienen mucha más sección de acero (más peso por metro), por lo que su utilización no resulta económica.

Los criterios a seguir para dimensionar y comprobar este elemento serán los recogidos en la Norma Básica NBE-EA-95. En la mayoría de los casos el cálculo se reduce a comprobar que los valores de las tensiones a que está sometida la sección es inferior a la tensión admisible (límite de fluencia), y que las deformaciones (flecha principalmente) están dentro de lo admisible por norma.

Comprobación de la sección:

La comprobación de la sección del perfil a *flexión simple* se hace mediante la expresión:

$$\sigma^* = \frac{M^*}{W_x} \leq \sigma_F$$

Donde:
 W_x es el módulo de sección. (Ver catálogos de perfiles).
 σ^* es la tensión debida al momento flector M^* mayorado.

El esfuerzo cortante, en general, tiene poca importancia en el dimensionamiento de los perfiles laminados. La tensión tangencial se deduce, aproximadamente mediante la formula:

$$\tau^* = \frac{Q^*}{S_{alma}} \leq 0,577\sigma_j$$

Donde:
 S_{alma} es la superficie del alma del perfil.
 τ^* es la tensión debida a la fuerza de cortadura Q^* mayorada.

Más exactamente el valor de la tensión tangencial en los puntos de la sección en una recta paralela (por ejemplo la recta AA') al eje OX es:

$$\tau^* = \frac{T_y S}{e I_x}$$

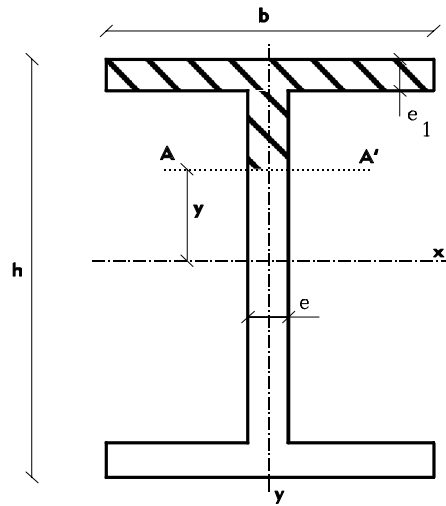
Donde:

T_y es el esfuerzo cortante ponderado que actúa en la sección.

S es el momento estático de la sección rayada respecto a la fibra neutra (eje x).

I_x es el momento de inercia de la sección total respecto al eje neutro.

e espesor del alma en la sección de corte.



En la fibra neutra de la viga las tensiones a cortadura son máximas, anulándose las tensiones normales debidas a la flexión. Causa por la que no suele tenerse en cuenta la influencia del esfuerzo cortante.

Cuando en el cálculo se tienen en cuenta las tensiones tangenciales, como por ejemplo, en vigas en I, de vano pequeño y muy cargadas, hay que considerar un estado de tensiones biaxial, por estar el alma, además, sometida a tensiones normales derivadas de los momentos de flexión. En este caso es preciso comprobar si en las secciones de transición de alma y platabanda o alas, la tensión de comparación σ_c^* es inferior al límite de fluencia. Esta tensión se deduce utilizando la expresión:

Donde:

$$\sigma_c^* = \sqrt{\sigma^{*2} + 3\tau^{*2}} \leq \sigma_F$$

σ^* es la tensión normal ponderada en el enlace de cabeza y alma en el extremo del alma.

τ^* es la tensión tangencial ponderada en la misma fibra en la que se comprueba σ^* .

Comprobación de la flecha:

Las limitaciones de flecha vienen impuestas en la Norma Básica en la que se dice; «las flechas serán compatibles con las necesidades específicas en cada caso. A menos que se establezcan exigencias especiales, se adoptarán los siguientes valores máximos de la relación flechas / luz bajo la acción de la carga característica.

- Vigas o viguetas de cubierta..... luz / 250.
- Vigas hasta 5 m. de luz y viguetas de forjado que no soporten muros de fábrica..... luz / 300.
- Vigas de más de 5 m. de luz que no soporten muros de fábrica..... luz / 400.
- Vigas de más de 5 m. de luz que soporten muros de fábrica..... luz / 500.
- Ménsulas, medida en el extremo libre..... luz / 300.

En cualquier otro elemento solicitado a flexión, y no mencionado anteriormente, la relación flecha / luz no excederá de luz / 500, a menos que se justifique debidamente que superarla no acarree consecuencias perjudiciales para el servicio o buen aspecto de la construcción. >

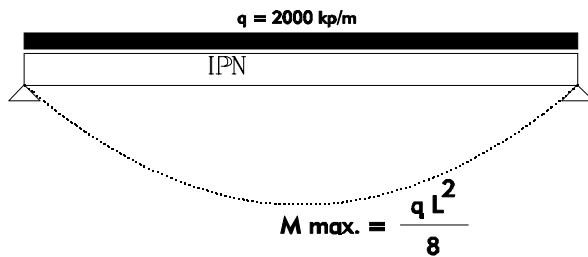
Para los casos más frecuentes la expresión que nos permite calcular la flecha se encuentra en cualquier formulario de resistencia de materiales. En general, el valor de la flecha f en el centro del vano de una viga apoyada de sección constante y perfil simétrico de canto h y luz l puede calcularse mediante la fórmula.

$$f (mm) \approx \alpha \frac{\sigma (kp/mm^2) l^2 (m^2)}{h (cm)}$$

Donde: - σ^* es la tensión debida al momento flector máximo M característico.
- α Un coeficiente tabulado.

EJEMPLO DE CALCULO DE VIGA

Una viga simplemente apoyada en ambos extremos de 6 m de luz, recibe una carga uniformemente repartida cuyo valor característico es $q = 2000 \text{ kp/m}$. Determinar el IPE necesario con la condición $f \leq 1/400$, siendo el acero A 42b.



$$M_{\text{max}} = \frac{2000 \times 6^2}{8} = 9000 \text{ mkp}$$

$$M_{\text{max}}^* = 9000 \times 1,5 = 13500 \text{ mkp}$$

$$\sigma = \frac{900000}{557} = 1616 \text{ Kp/cm}^2$$

$$f \leq \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

$$W_x \geq \frac{1350000}{2600} = 519 \text{ cm}^3 \text{ IPE300 } (W_x = 557 \text{ m}^3 ; I_x = 8360 \text{ cm}^4)$$

$$f = 1,000 \frac{16,16 \times 6^2}{30} = 20,64 \text{ mm} > 15 \text{ mm NO CUMPLE}$$

Como vemos la flecha es determinante en este caso, luego elegimos un perfil mayor.

A igualdad de las restantes condiciones las flechas son inversamente proporcionales a los momentos de inercia, luego:

$$\frac{I_x}{I_x} = \frac{f_x}{f_x} ; I_x = I_x \frac{f}{f_x} = 8360 \frac{20,64}{15} = 11503 \text{ cm}^4$$

Elegimos el perfil:

$$\text{IPE330 } (W_x = 713 \text{ m}^3 ; I_x = 11760 \text{ cm}^4)$$

PILARES

Los pilares tienen como función en la mayoría de los casos recoger de las vigas las cargas que estas soportan y llevarlas hasta la cimentación. Torroja solía decir que más vale pocos elementos robustos que gran cantidad de ellos pero delgados. Transmitir las cargas soportadas de forma simple y por el camino más corto posible a la cimentación es un buen objetivo a tener presente en el diseño estructural.

Los soportes pueden clasificarse por su sección en:

- Piezas simples.
 - De un solo perfil.
 - De varios perfiles.
- Piezas compuestas (generalmente enlazadas con presillas o celosía).

Para el estudio de soportes de hormigón se remite al alumno a obras más especializadas. Abordaremos solo el problema de los soportes de acero de un solo perfil, que ha de ser posible se resolverán mediante perfiles laminados.

CALCULO

Entre los perfiles normalizados, los que mejor se adaptan, a la función de soporte, son los -HE-, en los que la relación de radios de giro i_x / i_y es menor que en otros perfiles.

El dimensionado y comprobación de los soportes se realizará según los criterios recogidos en la Norma Básica NBE-EA-95.-. Su principal componente de sollicitación es generalmente el esfuerzo normal de compresión, que puede ir combinado con flexión, cortante y torsión, son por tanto barras comprimidas en las que los distintos fenómenos de pandeo adquieren gran importancia.

Los pasos a seguir son generalmente los siguientes:

- Análisis de la longitud de pandeo l_k .
- Cálculo de esbeltez mecánica λ .
- Búsqueda en tabla normalizada del coeficiente de pandeo ω .
- Cálculo a pandeo según el tipo de sollicitación (compresión centrada o excéntrica).

Longitud de pandeo.

Se denomina longitud de pandeo l_k de una pieza sometida a un esfuerzo normal de compresión a la longitud de otra pieza ideal recta prismática, biarticulada y cargada en sus extremos, tal que tenga la misma carga crítica que la pieza real considerada.

La longitud de pandeo es lo primero que debemos analizar y viene dada por la fórmula:

$$l_k = \beta \times l \quad \text{Donde:} \quad l \text{ es la longitud real del pilar.}$$

β es un coeficiente cuyo valor esta normalizado.

En los casos que más frecuentemente se presentan en la práctica en los que el pilar de sección constante está sometido a compresión centrada y uniforme, β toma los valores siguientes:

- Pilar biarticulado..... $\beta = 1$
- Pilar biempotrado..... $\beta = 0,5$
- Pilar empotrado-articulado..... $\beta = 0,7$
- Pilar empotrada-libre..... $\beta = 2$

Esbeltez mecánica de una pieza simple de sección constante.

La esbeltez mecánica λ de una pieza simple de sección constante, en un plano perpendicular a un eje de inercia de la sección, es el valor:

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

Donde:

l_k es la longitud de pandeo en el plano considerado.

i es el radio de giro de la sección bruta de la pieza respecto al eje de inercia considerado.

Se recomienda que la esbeltez mecánica de las piezas no supere el valor 200 en los elementos principales, pudiendo llegarse a 250 en los elementos secundarios o de arriostramiento.

Piezas sometidas a compresión centrada.

Calculo a pandeo.

En las piezas sometidas a compresión centrada ha de verificarse que:

Siendo:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leq \sigma_u$$

σ_u Resistencia de cálculo del acero.
 N^* Esfuerzo normal ponderado de compresión.
 A Area de la sección bruta de la pieza.

ω Coeficiente de pandeo.

Piezas sometidas a compresión excéntrica.

Se comprueban tanto a resistencia como a pandeo, opteniendose una seguridad suficiente con la fórmula aproximada siguiente:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + \frac{M^*}{W_c} \leq \sigma_u$$

Siendo: ω el coeficiente de pandeo obtenido considerando el radio de giro mínimo de la sección.

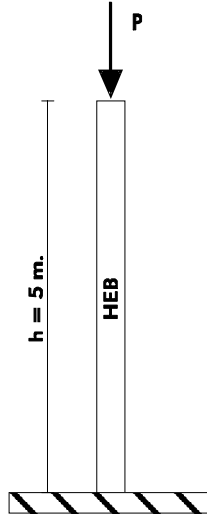
En el caso de una pieza de doble simetría o de simetría puntual solicitada por momentos M_x^* , M_y^* , en sus dos planos principales de inercia, se debe verificar:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} + \frac{M_x^*}{W_x} + \frac{M_y^*}{W_y} \leq \sigma_u$$

En la que el coeficiente ω debe obtenerse en función de la mayor de las dos esbelteces λ_x, λ_y .

EJEMPLO DE CALCULO DE UN PILAR

Un soporte de 5m de altura soporta una carga P^* de 26 tn. Se pide determinar que perfil HEB puede soportar dicha carga.



Estamos ante un caso claro de **compresión centrada**.

- Análisis de la **longitud de pandeo l_k** .

El pilar está empotrado-libre luego:

$$l_k = \beta \times l = 2 \times 6 = 12 \text{ m.} = 1200 \text{ cm.}$$

- Cálculo de **esbeltez mecánica λ** .

Para que está sea menor de 200 deberemos buscar un perfil HEB con un radio de giro como mínimo el deducido a continuación.

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

$$i = \frac{1200}{200} = 6 \text{ cm}$$

Elegimos el **perfil HEB-240** de radio de giro $i_y = 6,08$ cm., luego la esbeltez será:

$$\lambda = \frac{1200}{6,08} = 197$$

- Búsqueda en tabla normalizada del **coeficiente de pandeo ω** .

Elegimos un acero A42, luego el coeficiente de pandeo será:

$$\omega = 6,53$$

- **Cálculo a pandeo** según el tipo de sollicitación (compresión centrada o excéntrica).

La sección del perfil elegido es $A = 106 \text{ cm}^2$, por tratarse de compresión centrada se comprueba:

$$\sigma^* = \frac{N^* \omega}{A} \leq \sigma_u \quad \sigma^* = \frac{26000 \times 6,53}{106} = 1602 \text{ kp/cm}^2 < 2600 \text{ kp/cm}^2$$

CUMPLE