

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN
TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**TEMA 9
RESISTENCIA DE MATERIALES**

ÍNDICE

1. Introducción
2. Nociones Básicas. El Problema Elástico
3. Modelo de pieza prismática
4. Cálculo de esfuerzos sobre piezas prismáticas
5. Planos de diseño de estructuras

BIBLIOGRAFÍA

1. Introducción

Toda ciencia comienza delimitando los objetos que estudia, bien centrando los materiales que los constituyen o bien centrándose en aspectos relativos a los mismos. En las ciencias sobre materiales se delimita un modelo concreto de materia.

En este sentido hay ciencias como la Mecánica o la Física en las que se analiza el equilibrio o el movimiento de los cuerpos como consecuencia de la acción de fuerzas actuantes y con ciertas limitaciones geométricas, pero que no afectan a la geometría del objeto analizado, no cambian ni sus dimensiones ni los ángulos relativos entre puntos. Este análisis es práctico y muy útil aunque desprecia las fuerzas internas que se transmiten por el interior del cuerpo analizado que ni se modifica ni llega a destruirse. A este objeto que se mueve pero no se deforma se le denomina Sólido Rígido.

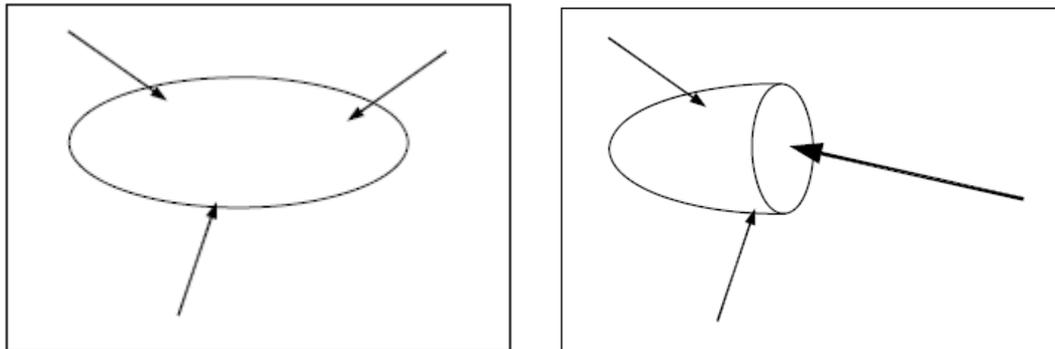
Los cuerpos reales se mueven según las leyes de la Física, pero además, al ser sometidos a acciones exteriores modifican su forma e incluso, tras pasado cierto límite, se destruyen y dejan de existir. A estos objetos se los denomina Sólido Elástico, cuerpos de geometría conocida, formados por materiales de propiedades mecánicas conocidas y para los que habrá que determinar las fuerzas interiores y los desplazamientos entre puntos como consecuencia de la acción de fuerzas externas. Este análisis es el objeto de la Resistencia de Materiales.

2. Nociones básicas. El Problema Elástico.

2.1. Hipótesis de la Resistencia de Materiales

El planteamiento general de análisis de la Resistencia de Materiales es muy complejo, es por ello que se adoptan algunas hipótesis que simplifican el mismo aun cuando se desvirtúe algo la realidad.

- a. Continuidad de la materia, supone que los objetos están compuestos por partículas infinitesimales en relación al tamaño total del mismo por lo que no afectan al análisis sobre el mismo. Obviamente esto no es cierto, especialmente en materiales con distintos componentes como puede ser el hormigón.
- b. Sistemas en equilibrio, indica que existe equilibrio en un cuerpo si y sólo si las fuerzas actuantes sobre el mismo forman un sistema nulo. En esas circunstancias, si segregáramos una parte del objeto, las acciones ejercidas por la parte segregada deben equilibrar las fuerzas existentes.

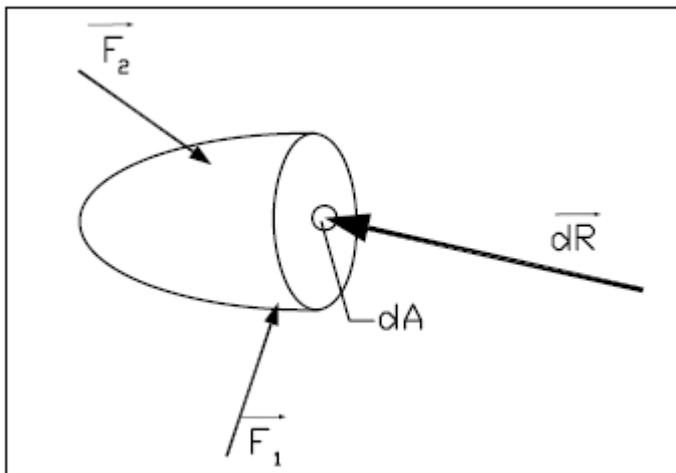


- c. Correspondencia biunívoca y lineal entre tensión y deformación, Siempre se supone que los esfuerzos se sitúan en el tramo elástico de las deformaciones (Ley de Hooke) y que, por tanto, las deformaciones son siempre reversibles al desaparecer las cargas que las originaron. Evidentemente muchas deformaciones no son elásticas, serán plásticas y no recuperables. El cálculo plástico es bastante más complejo.

- d. Sólo se analizan estados finales, no se analiza el proceso de deformación, aunque es evidente que este proceso puede ser determinante.
- e. Los cuerpos son homogéneos e isótropos, aunque normalmente no sean ni una cosa ni otra.
- f. No se analizan aspectos locales, aunque también es evidente que la distribución de fuerzas es distinta en el punto de aplicación de una carga que en el resto del cuerpo, siendo normal que aparezcan situaciones plásticas en el contacto como en el caso del deslizamiento de una locomotora por una vía férrea en el contacto rueda-carril.
- g. Se pueden superponer los efectos, se analizan los efectos de cada carga por separado y se suman los efectos de todas ellas.

2.2. Tensiones

Al analizar el equilibrio en un cuerpo al que se le segrega una parte, la parte segregada ejercerá en cada diferencial de superficie dA un diferencial de fuerza dR . La tensión en cada punto



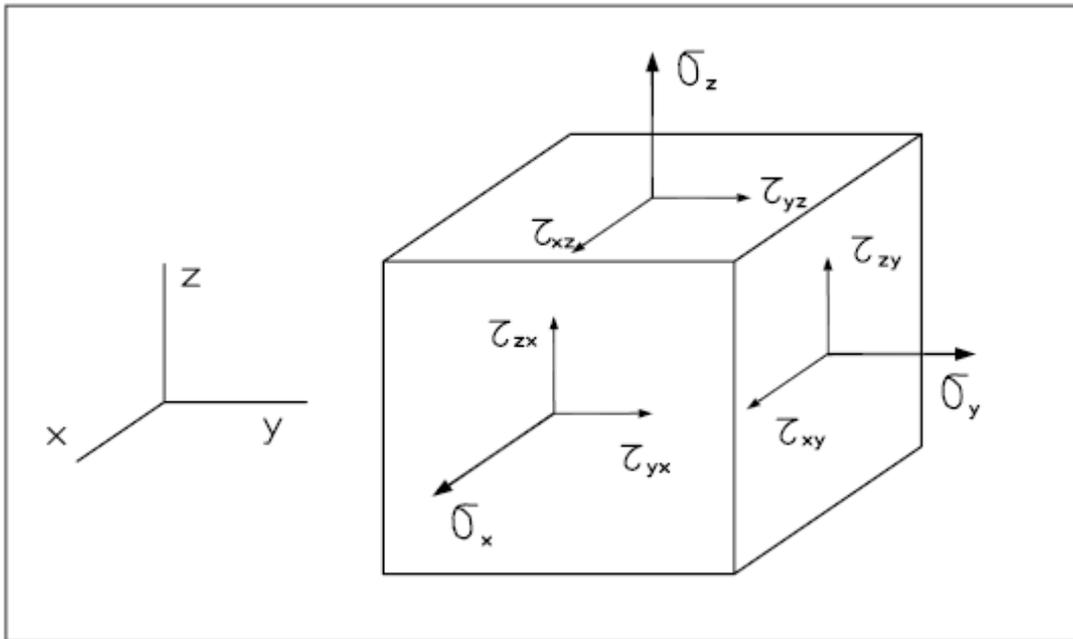
será:

$$\vec{\sigma} = \frac{\vec{dR}}{dA}$$

La tensión se expresa en kg/cm^2

Esta tensión en cualquier punto se puede descomponer según unos ejes coordenados cartesianos.

Descompongo dR en los tres ejes para un punto con su correspondiente diferencial de volumen.



σ_x , σ_y , σ_z , son perpendiculares a las caras según los ejes.

τ_{xy} tiene la dirección del eje x en un plano perpendicular al eje y.

Luego sobre cada cara aparecen tres tensiones, una normal a la cara, tensión normal, y dos coplanarias con la cara, tensiones tangenciales.

Si además considero unas fuerzas de peso según los ejes X, Y, Z, el equilibrio supone:

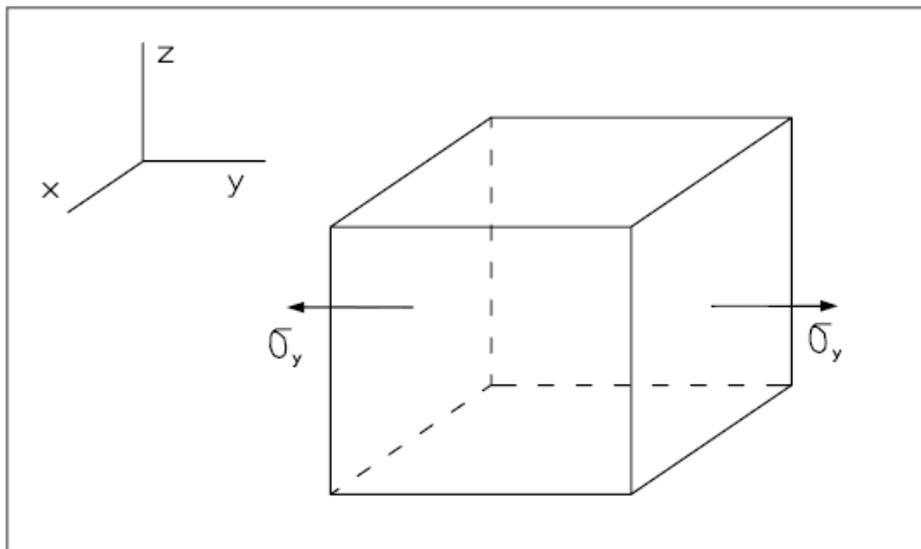
$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= X \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= Y \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= Z \end{aligned}$$

Además si tomo momentos respecto a los ejes de coordenadas que pasan por el centro:

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_{zx} &= \bar{\tau}_{xz} \\ \bar{\tau}_{zy} &= \bar{\tau}_{yz} \\ \bar{\tau}_{xy} &= \bar{\tau}_{yx}\end{aligned}$$

2.3. Ley de Hooke

Considero un $dVol$ sometido a una tensión normal a una de sus caras



Se deformará según la dirección que marca la tensión una magnitud ΔL .

La deformación elástica unitaria será:

$$\epsilon_y = \frac{\Delta L}{L}$$

Sin embargo ϵ_y no depende sólo de σ_y , sino también de σ_x , σ_z . Es el caso del chicle que al estirarlo se alarga en una dirección y se encoge en las otras dos.

Como estamos en cálculo elástico, existirá un coeficiente de proporcionalidad entre ϵ_y y σ_y que vale $1/E$, siendo E el módulo de elasticidad del material

(kg/cm²) y es proporcional a las otras dos tensiones según otro coeficiente $-\nu/E$ donde ν es el coeficiente de Poisson (adimensional).

Luego:

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} \sigma_y - \frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_z)$$

Ley de Hooke generalizada a los tres ejes.

2.4. El Problema Elástico

Consiste en determinar en todo cuerpo las tres tensiones normales y tres tangenciales que han de estar en equilibrio interno, han de cumplir con las condiciones de contorno y, por último, los giros en las diferentes secciones deben ser compatibles. Para éstas últimas se determinan unas ecuaciones de compatibilidad, que son complejas para el alcance de este curso y no se estudiarán.

3. Modelo de pieza prismática

3.1. Pieza prismática

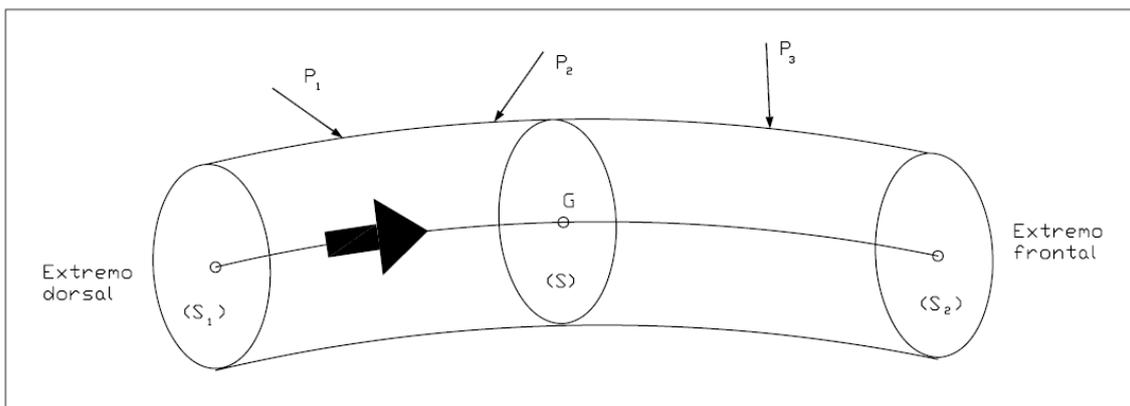
Una vez vistos los fundamentos básicos simplificados de la Resistencia de Materiales, los aplicaremos al estudio de cuerpos concretos.

El tipo de cuerpos que vamos a analizar estará centrado en las denominadas piezas prismáticas. La pieza prismática se forma por una sección plana que recorre una trayectoria de manera que su centro de gravedad discurre por una curva plana que se denomina directriz, manteniéndose la sección siempre perpendicular a dicha directriz. De esta forma se engendra un volumen. Al menos un eje fijo de la sección debe mantenerse en el plano de la directriz.

Aunque la definición resulte algo farragosa, casi todos los elementos estructurales, tales como vigas, pilares, viguetas, responden a este modelo.

3.2. Esfuerzos sobre una pieza prismática.

Una pieza prismática estará sometida a un conjunto o sistema de cargas exteriores y a otras reacciones de apoyo o enlace respecto a otros elementos, en general, estará sometida a un sistema de cargas.



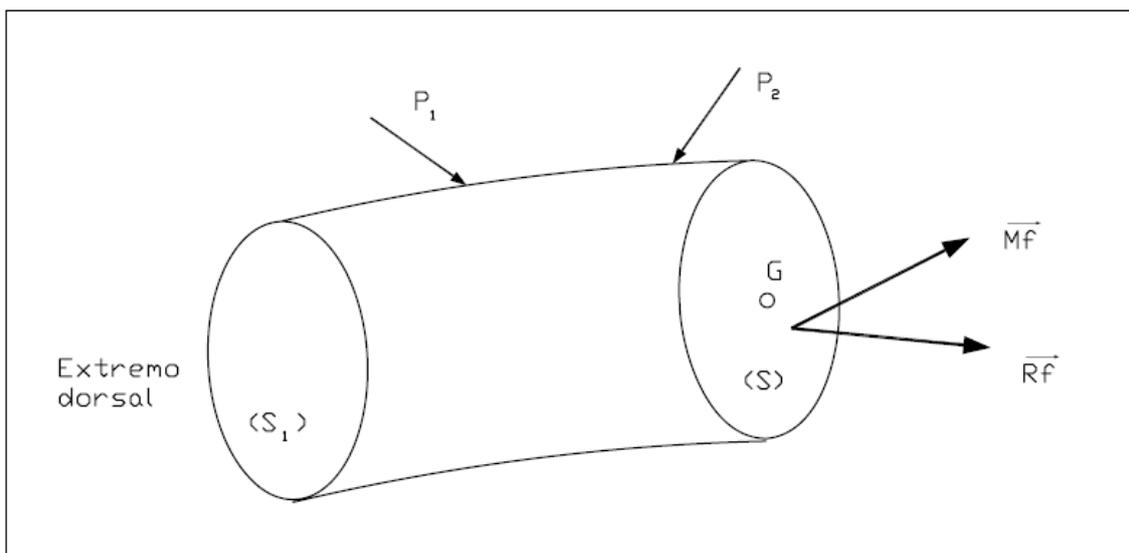
Consideremos una sección que engendre una pieza prismática en su desplazamiento entre S_1 y S_2 . El recorrido se describe desde S_1 hasta S_2 ,

denominándose a S_1 extremo dorsal de la pieza y a S_2 extremo frontal de la pieza. El recorrido es siempre dorsal-frontal.

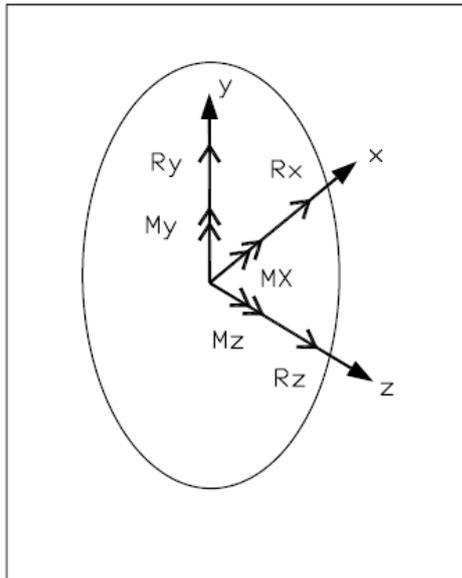
Consideramos una sección intermedia cualquiera S . A los esfuerzos situados ante dicha sección y el extremo dorsal los denominaremos esfuerzos dorsales. Al resto esfuerzos frontales.

Si secciono la pieza en S y prescindo de la parte frontal, tendré que sustituir los esfuerzos frontales por un sistema equivalente que se situará en un punto cualquiera de S , entendiendo con esto que no tiene por qué ser el centro de gravedad G .

Este sistema constará de una fuerza resultante R y un momento M , al ser frontales, R_f y M_f .



Siempre podré descomponer estos esfuerzos según unos ejes coordenados,



En la figura se observa que el eje OY es la intersección del plano de la sección con el plano de la directriz, OX es el coplanario en la sección y OZ perpendicular a la sección. Con estos ejes tendré tres componentes para la reacción R , R_x , R_y , R_z y tres para el momento M , M_x , M_y , M_z . Los momentos indicados con la doble flecha indican giro alrededor de dicho eje.

A la reacción R_z se la denomina esfuerzo axial, si su dirección es el eje OZ^+ se le denomina de tracción y en caso contrario, OZ^- de compresión. Se suele representar por la letra N y se aplica en el centro de gravedad G .

Las reacciones R_x y R_y , esfuerzos en el plano de la sección se denominan esfuerzos cortantes y se representan por la letra Q .

La componente M_z del momento que da giro en torno al eje OZ se denomina momento torsor M_T .

Las otras dos componentes del momento M_x y M_y tienden a girar el plano de la sección y se denominan momentos flectores M_f .

En el caso de que todos los esfuerzos se apliquen en el plano de la directriz (lo que es frecuente), sólo tendré un esfuerzo axial N , un momento flector M_f (M_x) y un esfuerzo cortante Q (R_y).

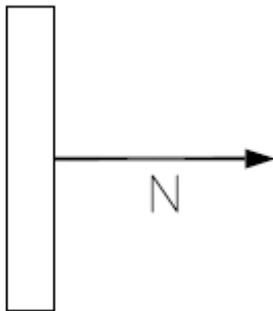
En este último caso, que es con el único que trabajaremos, dependiendo de que existan más o menos esfuerzos se dice que la pieza está sometida a diversas sollicitaciones. Así:

- a) Si sólo N, tracción o compresión simple
- b) Si sólo M_f , flexión pura.
- c) Si Q y M_f , flexión simple
- d) Si N y M_f (y Q), flexión compuesta.

El cortante Q sólo no puede existir porque siempre genera un momento al crear un par de giro y necesita un momento que lo equilibre.

Lo que trataremos en cada caso es de transformar un conjunto de esfuerzos sobre la pieza en tensiones repartidas a lo largo de la sección.

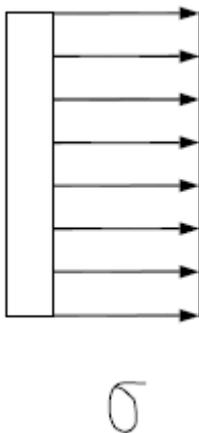
3.3. Tracción o compresión simple



Sólo actúa N en G, por lo que sólo aparecerán tensiones normales a la sección. Si la superficie de la sección considerada es Ω .

$$N = \sum \sigma_i = \Omega \sigma$$

Luego



$$\sigma = \frac{N}{\Omega}$$

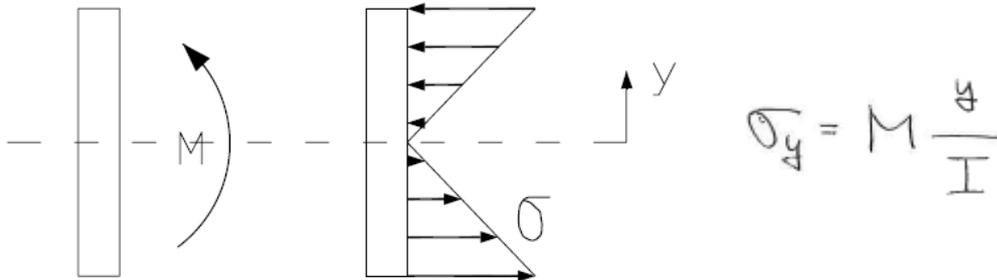
$$\sigma = E \varepsilon \text{ (Ley de Hooke)}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{\Omega E} = \frac{\Delta L}{L}$$

Con estas fórmulas que ya se utilizaron en el cálculo elástico en aceros, se determinan tanto tensiones como deformaciones.

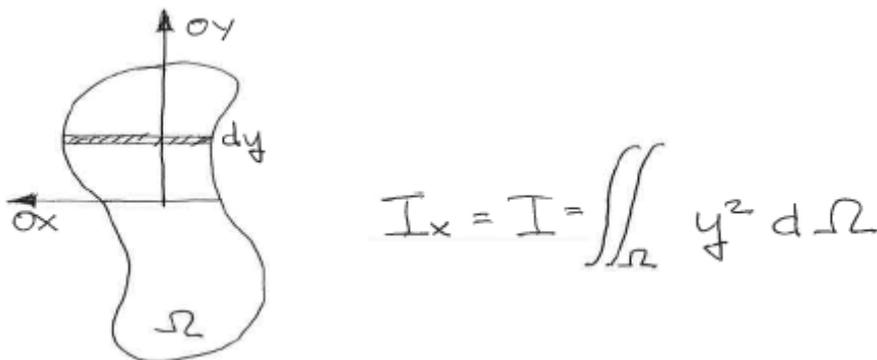
3.4. Flexión pura

En este caso, si uno de los ejes principales de inercia esta en el plano de la directriz (que en nuestro caso será siempre, entre otras cosas, porque los ejes de simetría lo son), entonces la tensión normal es:

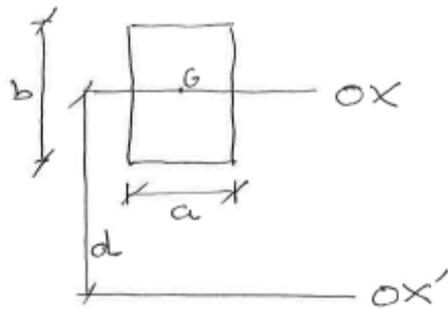


La tensión en cada punto de la sección es el resultado de multiplicar el momento por la distancia a la fibra neutra (tensión nula) y dividir entre el momento de inercia que pasa por dicha fibra neutra (siempre contendrá al centro de gravedad G). Se aplica la hipótesis de Navier de distribución lineal de la tensión.

Para calcular el momento de inercia hay que resolver la integral doble:



Esta integral en el caso de una sección rectangular resultaría:



$$I = \int_0^a \int_{-b/2}^{b/2} y^2 dy dx = a \frac{b^3}{12}$$

Si el eje de cálculo del momento no fuese el que pasa por el centro de gravedad G, entonces:

$$I_{x'} = I_x + \Omega d^2$$

En flexión pura la fibra neutra pasará siempre por G para que exista equilibrio.

Por criterio de signos se considera positivo al momento que genera compresión en la fibra superior.

La tensión máxima se produce cuando es máxima la distancia y, es decir en la fibra más alejada de G.

$$\sigma_{max} = M \frac{y_{max}}{I}$$

En esta fórmula se designa como modulo resistente w, al factor exclusivamente geométrico para cada sección. Este módulo está tabulado para secciones características como pueden ser los perfiles laminados.

$$w = \frac{I}{y_{max}}$$

Las deformaciones se obtienen mediante los teoremas de Mohr. Estos teoremas exceden el alcance de este curso básico

3.5. Flexión simple

Indica que existe momento y fuerzas coplanarias a la sección (Q).



$$M_1 = M_2 + Q \cdot ds$$

Como ds es infinitesimal, lo será Q.ds y también lo será la diferencia de momentos

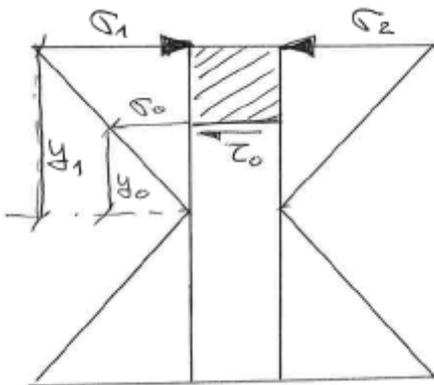
$$M_1 - M_2 = dM$$

Por lo que

$$Q = \frac{dM}{ds}$$

Luego el esfuerzo cortante Q es igual a la derivada del momento flector en esa sección respecto de la longitud.

Planteamos el equilibrio en la sección:

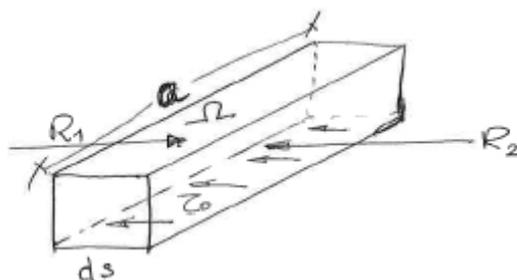


Como quiera que:

$$\begin{aligned} M_1 &> M_2 \\ R_1 &> R_2 \\ \sigma_1 &> \sigma_2 \end{aligned}$$

Para que exista equilibrio debe existir la fuerza τ_0

Si aísló el trozo de rebanada entre la sección 0 y el extremo superior



Para conseguir el equilibrio deben existir tensiones en la cara inferior de un valor total:

$$\tau_0 \cdot a \cdot ds$$

Como

$$R_1 = \int_{y_0}^{y_1} \sigma_y \cdot b(y) dy$$

$$\frac{\sigma_y}{\Delta y} = \frac{\sigma_1}{\Delta y_1} \quad \sigma_y = \frac{y}{y_1} \sigma_1$$

$$R_1 = \frac{\sigma_1}{y_1} \int_{y_0}^{y_1} y \cdot b(y) dy$$

$$R_1 - R_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{y_1} \int_{y_0}^{y_1} y \cdot b(y) dy = \tau_0 \cdot a \cdot ds$$

Y sabiendo que

$$\sigma_1 = \frac{M_1 \cdot y_1}{I}$$

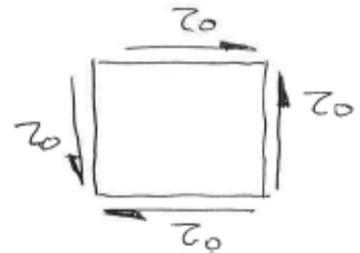
$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{y_1}{I} (M_1 - M_2) = \frac{y_1}{I} Q ds$$

$$\frac{Q ds}{I} \underbrace{\int_{y_0}^{y_1} y \cdot b(y) dy}_{m_0 \text{ (MOMENTO ESTÁTICO)}} = \tau_0 \cdot a \cdot ds$$

m_0 es el momento estático de la sección situada por encima de la fibra de corte.

$$\frac{Q_{m0}}{I} = \tau_0 a \quad \tau_0 = \frac{Q_{m0}}{a I}$$

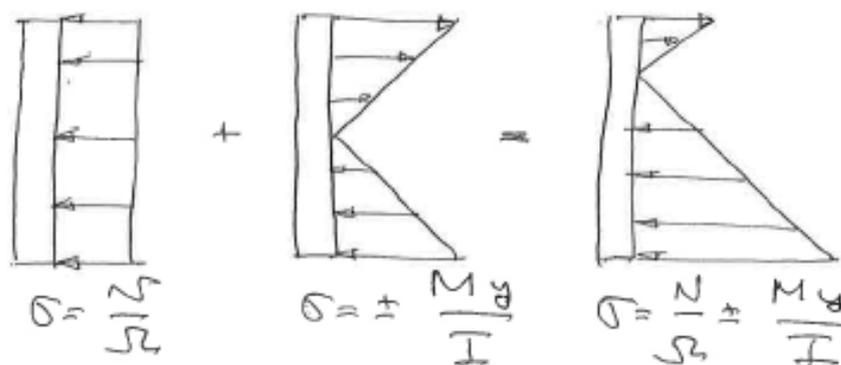
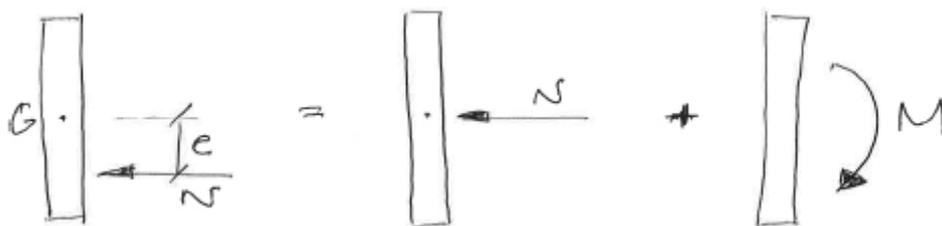
Si doy dos cortes infinitamente próximos, aparecen en las caras verticales para equilibrar otro par de fuerzas.



Evidentemente la tensión tangencial es máxima cuando lo sea m_0 , es decir, en la fibra neutra.

3.6. Flexión compuesta

Se produce siempre que un axil N no se aplica en el centro de gravedad G , su efecto equivalente es de un axil N en G y un momento flector M .



Las tensiones resultan de la suma de ambos efectos:

En este caso la fibra neutra no coincidirá con el centro de gravedad G .

3.7. Núcleo central

Hay materiales cuyas resistencias a compresión y tracción son iguales, caso del acero. Por el contrario, hay materiales en que esto no sucede como es el caso del hormigón. El hormigón presenta buenas resistencias a compresión y pobres resistencias a tracción. Es por ello que resulta importante asegurar que la zona de hormigón traccionada sea mínima o no exista.

Del esquema del punto anterior se aprecia que el momento será mayor cuanto mayor sea la excentricidad e . El momento es que origina tracciones aun cuando el axil sea de compresión. Resulta interesante determinar cuál es valor máximo de e que no origina tracción en ningún punto de la sección.

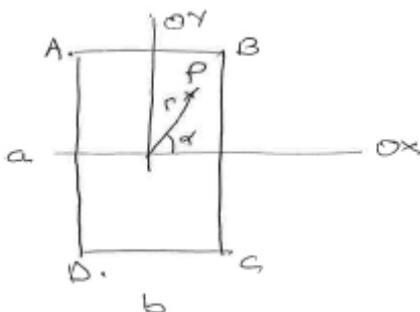
Al lugar geométrico de puntos para los que la aplicación de un axil de compresión no provoca aparición de tracciones en algún punto de la sección se le denomina Núcleo Central.

Para determinarlo basta considerar el valor de la tensión para cualquier punto e igualar a 0, es decir que la fibra neutra coincida con el borde de la sección.

$$-\frac{N}{\Omega} + \frac{M_y}{I} = 0 = -\frac{N}{\Omega} + \frac{N e_y}{I}$$

De esta ecuación se deduce que el valor del axil N no influye al determinar el núcleo central.

Como ejercicio, vamos a calcular el núcleo central en una sección rectangular.



Consideramos un axil N aplicado en un punto cualquiera P . Como hemos situado P en el primer cuadrante, es evidente que la situación más desfavorable para la posible aparición de tracciones se producirá en la esquina más

alejada, en este caso, el punto D.

La tensión en D será:

$$\frac{-N}{ab} + \frac{Nr \operatorname{sen} \alpha \frac{a}{2}}{\frac{1}{12} b a^3} + \frac{Nr \operatorname{cos} \alpha \frac{b}{2}}{\frac{1}{12} a b^3} = 0$$

$$\frac{-1}{ab} + \frac{6r \operatorname{sen} \alpha}{b a^2} + \frac{6r \operatorname{cos} \alpha}{a b^2} = 0$$

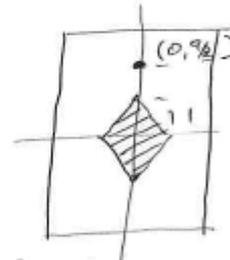
Las coordenadas de P son $(r \operatorname{cos} \alpha, r \operatorname{sen} \alpha) \equiv (X, Y)$

$$\frac{-1}{ab} + \frac{6Y}{b a^2} + \frac{6X}{a b^2} = 0$$

$$\frac{6Y}{a} + \frac{6X}{b} = 1$$

Es una recta

$$\left. \begin{array}{l} Y=0 \quad X = b/6 \\ X=0 \quad Y = a/6 \end{array} \right\}$$



Como comprobación \Rightarrow colocó N fuera p.e. $(0, a/3)$

$$\sigma = -\frac{N}{ab} + \frac{N \frac{1}{3} a \frac{1}{2} a}{\frac{1}{12} b a^3} = -\frac{N}{ab} + \frac{2N}{ab} = \frac{N}{ab} > 0$$

TRACCIÓN

Luego para una sección rectangular, el núcleo central es un rombo.

4. Cálculo de esfuerzos sobre piezas prismáticas

4.1. Condiciones previas. Tipos de enlace.

El estudio en este curso básico se centrará exclusivamente en piezas prismáticas de sección uniforme sometidas a diferentes cargas fijas.

Si las cargas no fuesen fijas, el cálculo se complica mucho y los cuerpos sometidos a cargas variables sufren una disminución en su capacidad resistente a largo plazo por fenómenos de fatiga.

Las cargas podrán ser puntuales, lineales, superficiales y volumétricas, pero, en nuestro caso sólo serán puntuales y lineales.

También existen cargas estáticas y dinámicas, de entre las últimas son típicas las de tipo ondulatorio. Sólo se analizarán cargas estáticas.

En muchas estructuras se distingue entre cargas permanentes (actúan siempre) y sobrecargas (pueden existir o no existir). Ejemplo de las primeras es el peso propio y de las segundas la sobrecarga de nieve. Para nosotros las cargas siempre serán permanentes.

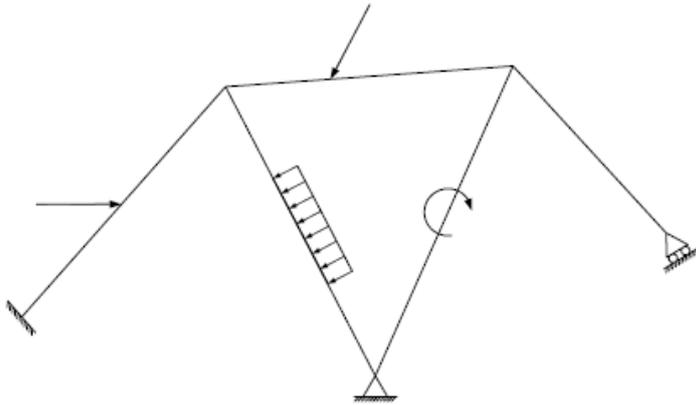
En suma, tendremos piezas prismáticas de directriz recta y sometidas a cargas fijas estáticas y permanentes.

Estas piezas se apoyan en el terreno mediante tres tipos de enlace:

-  - Apoyo deslizante que coacciona sólo el movimiento en el plano perpendicular al apoyo.
-  - Articulación o rótula, que coarta los movimientos que implican desplazamiento pero permite el giro.
-  - Empotramiento, que coarta desplazamientos y giros.

4.2. Isostatismo e Hiperestatismo

Sobre un cuerpo cualquiera formado por distintas piezas prismáticas se puede ejercer multitud de acciones. Al conjunto de las mismas se le denomina estructura.



Para que el conjunto esté en equilibrio disponemos de un conjunto de ecuaciones de equilibrio en fuerzas y en momentos.
 $\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$.

Si trabajamos en tres dimensiones tendríamos de seis ecuaciones, si lo hiciésemos en dos dimensiones sólo de tres ecuaciones.

En cuanto a incógnitas, desconozco el valor de las fuerzas en cada apoyo, también denominadas reacciones:

- Un apoyo deslizante introduce una reacción.
- Una rótula, dos reacciones.
- Un empotramiento tres reacciones, dos al desplazamiento y un momento por el giro.

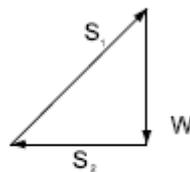
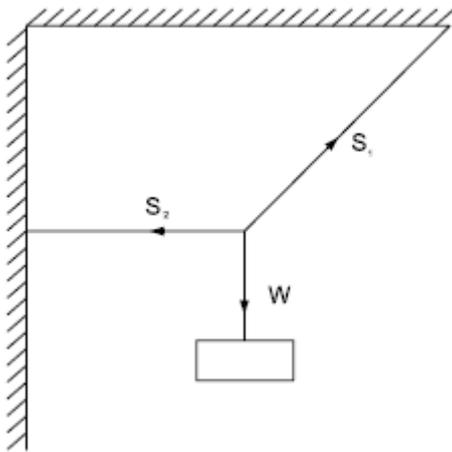
Se dice que una estructura es isostática si las incógnitas de la estructura coinciden con el número de ecuaciones disponibles. Si existen más incógnitas que ecuaciones, la estructura es hiperestática (que es lo más normal). Si hubiese menos incógnitas que ecuaciones se trataría de un mecanismo (una viga apoyada en dos apoyos deslizantes si la empujan se mueve, no genera tensiones).

Sólo analizaremos estructuras isostáticas.

4.3. Estática gráfica

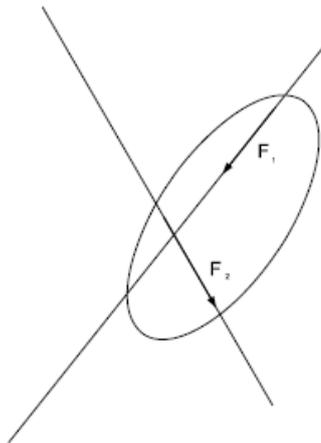
Para que un conjunto de fuerzas que actúan sobre un cuerpo esté en equilibrio es necesario que el polígono resultante de poner una fuerza a continuación de otra esté cerrado.

Esta propiedad es muy útil para resolver determinadas estructuras sencillas de forma gráfica:

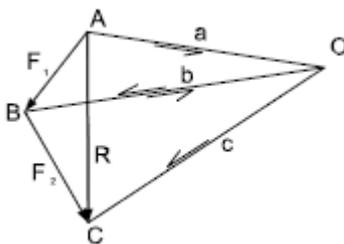


Como el peso es vertical debe equilibrarse con la componente vertical de S_1 . La componente horizontal de S_1 debe equilibrarse con S_2 .

También se puede resolver gráficamente mediante el denominado polígono funicular.

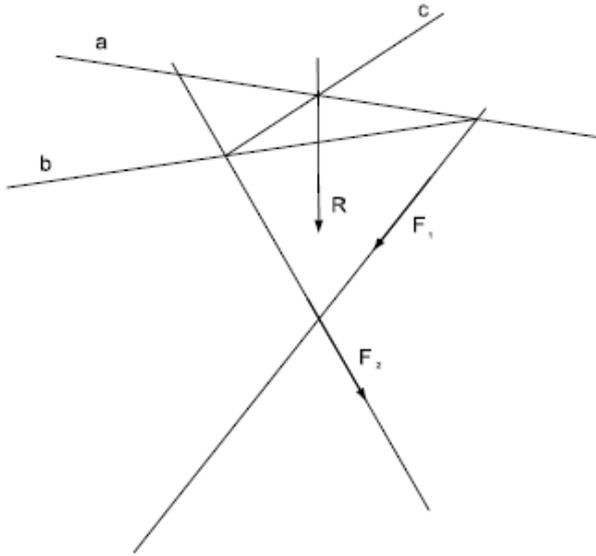


Consideremos un cuerpo sobre el que actúa un par de fuerzas F_1 y F_2 . Es fácil obtener el valor de su resultante de forma gráfica, pero no lo es tanto, menos aun si incrementamos el número de fuerzas, obtener el punto de aplicación de la misma.



La forma de proceder es dibujar ambas fuerzas y su resultante. Se forma un triángulo cuyos vértices uno a uno a un punto exterior cualquiera O. Obtendré tres líneas desde O hasta los vértices A, B y C, de direcciones “a”, “b” y “c”.

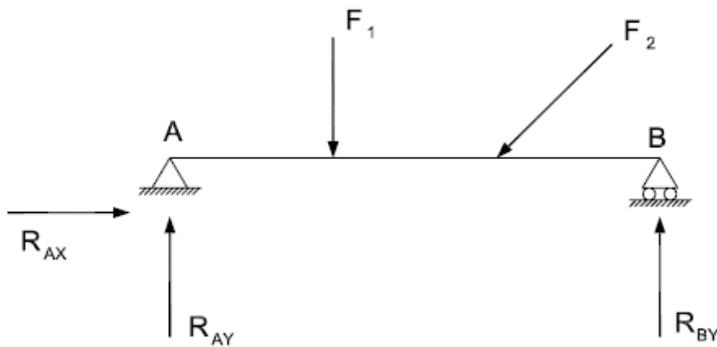
También se aprecia que $AO + OB = F_1$ y que $BO + OC = F_2$.



Entonces si desde un punto cualquiera de F_1 trazo una paralela a "b" cortara a F_2 en otro punto desde el que trazo una paralela a "c". Si desde el primer punto trazo una paralela a "a", las líneas paralelas a "a" y "c" se cortan en punto de la línea de acción de R. Esto es así porque "a" discurre entre el vértice común de F_1 y R con O, "b" entre F_1 y F_2 con O y "c" entre F_2 y R con O.

Este ejemplo es válido para cualquier número de fuerzas y permite calcular magnitud, dirección y punto de aplicación de la resultante. El triángulo (polígono en general) así construido se denomina polígono funicular.

Veamos un ejemplo más inteligible en el cálculo de reacción de una pieza.

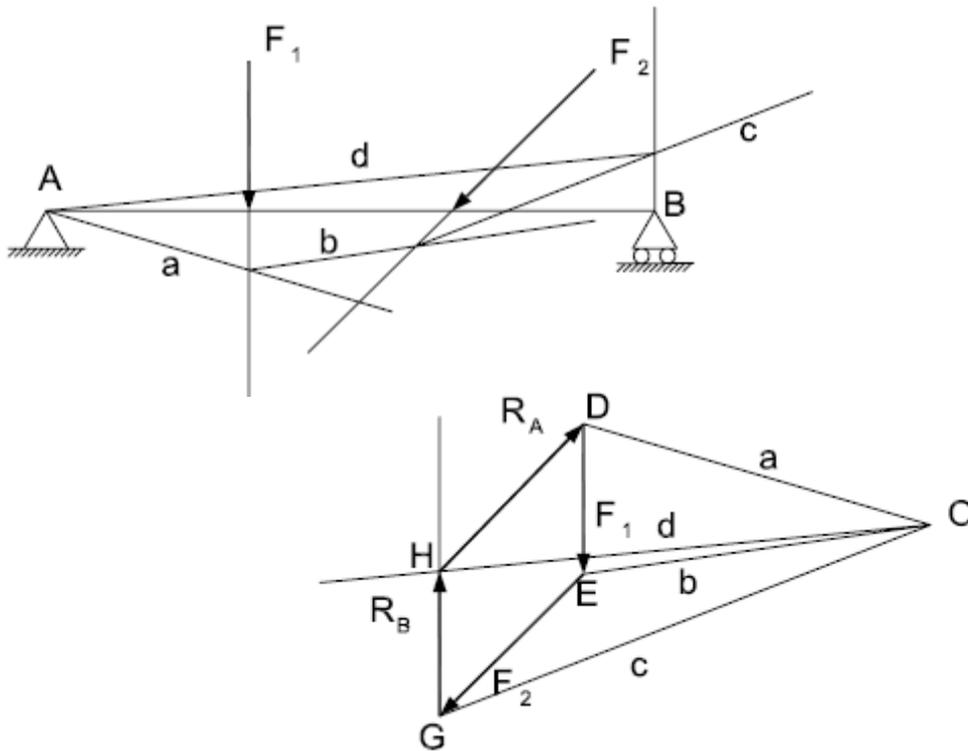


Consideremos una viga biapoyada sobre la que actúa un par de fuerzas. Calcularemos las reacciones por estática gráfica.

Para ello dibujo a escala la viga y construyo el polígono funicular asociado.

La reacción en A pasará por A. Desde A trazo una paralela a la dirección "a" hasta la línea de acción de F_1 . Desde el corte una paralela a "b" hasta F_2 . Desde el corte una paralela a "c" hasta R_B , cuya dirección sabemos, será vertical. Uno el punto de corte con el origen, vértice A, determinando la

dirección "d". Si ahora desde O trazo "d" en su corte con la dirección R_B , que sabíamos vertical, determina el punto H y al cerrar el polígono R_A



4.4. Equilibrio estático de piezas prismáticas.

El problema es calcular analíticamente los esfuerzos que se producen en una pieza prismática sometida a un conjunto de acciones exteriores. Los esfuerzos a calcular son el valor del axil N, momento M y cortante Q en cada punto de la pieza analizada. Para el calculo se dispone de 6 ecuaciones de equilibrio, 3 si se trabaja en dos dimensiones.

Si se calcula el valor de cada esfuerzo en cada uno de los puntos de la pieza, se obtiene la Ley de esfuerzos en la pieza y ésta se puede representar en un gráfico. Obtenida las tres leyes de esfuerzos (N, M, Q) se sabe cual es la sollicitación en cualquier sección de la pieza en la situación de equilibrio. Y conocidas las sollicitaciones también se puede calcular la tensión normal y tangencial que soporta cada punto de la sección.

El cálculo de las leyes de esfuerzos y tensiones subsiguientes se realiza en el apartado práctico de esta lección.

4.5. Deformada

La deformada es la disposición física que adopta una estructura como consecuencia de la aplicación de las diferentes cargas. Dicha deformada se conforma como la suma de deformaciones lineales y giros. Estas deformaciones se calculan con los teoremas de Mohr.

La deformada aporta información sobre las leyes de esfuerzos, particularmente sobre las leyes de momentos, indicando zonas comprimidas y traccionadas.

A las deformaciones lineales en el plano perpendicular al eje se les denomina flechas. Es un dato importante que se tiene en cuenta en los cálculos de piezas horizontales y especialmente en edificación. Si una viga de un edificio tiene mucha flecha, es decir, se deforma mucho, obliga a que las paredes que se apoyan en la misma se deformen. Como, en ocasiones, ello no es posible al ser más rígida la pared que la viga, aparecen roturas (desde fisuras hasta rajaduras) en las paredes. Una limitación característica de la flecha es de $1/250$ de la luz para cada viga.

4.6. Coeficientes de seguridad

En España el cálculo de estructuras está completamente reglado por normas específicas el Ministerio de Fomento, tales como las Normas Básicas de Edificación (MBE-CPI-96), Código Técnico de edificación (CTE 2006) o las normas de acciones y cálculo de puentes.

En España se calcula siempre utilizando coeficientes de seguridad. Estos coeficientes aseguran la viabilidad de las estructuras mediante dos mecanismos:

- Coeficientes de mayoración de las acciones de cálculo

- Coeficientes de minoración de la resistencia de los materiales.

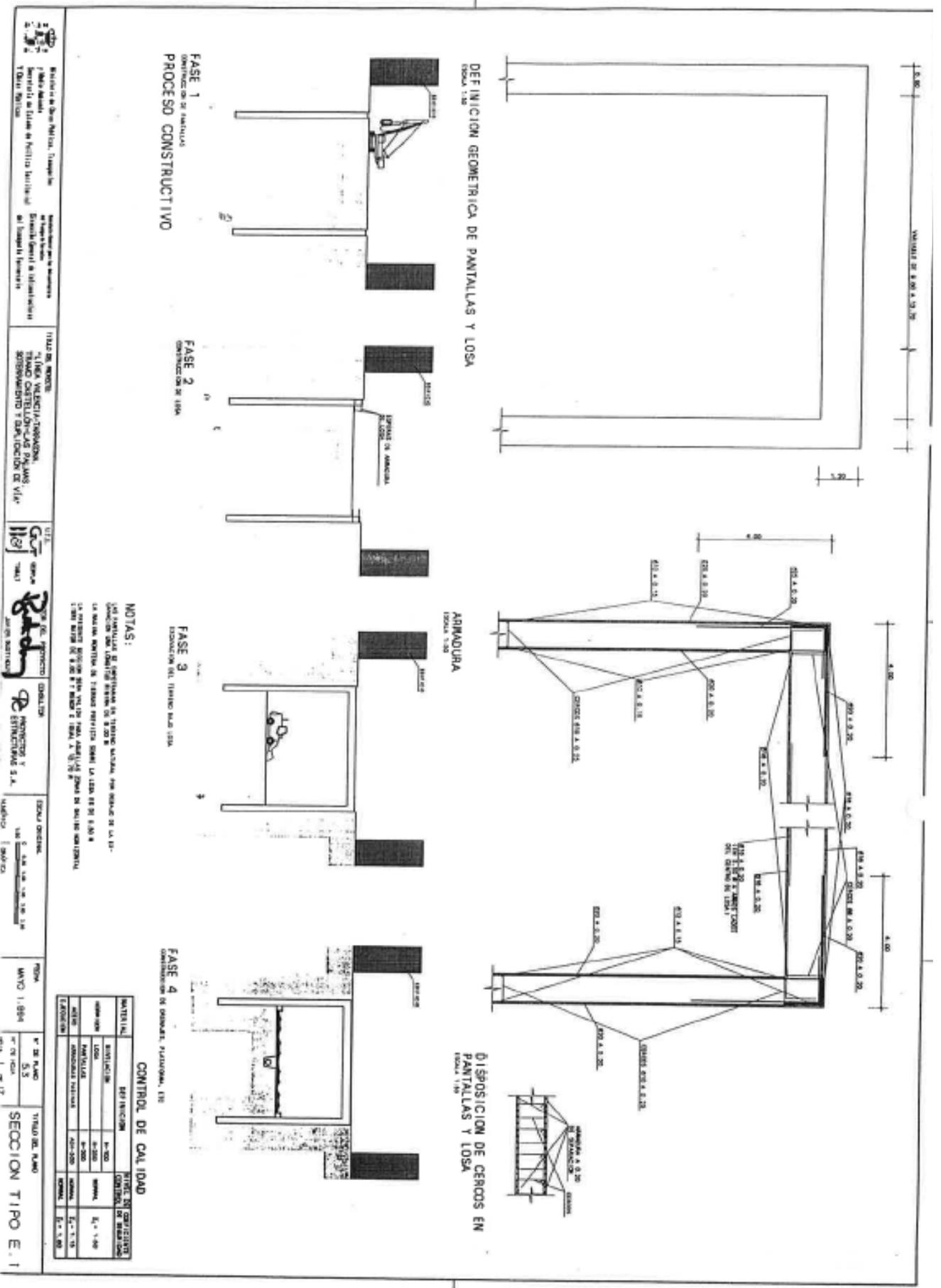
Los primeros suponen incrementar las cargas máximas esperadas. Su valor puede variar en función del tipo de carga (mayor para una sobrecarga que para una carga permanente) e incluso puede suponer un valor de decremento para cargas cuya acción favoreciese el cálculo estructural. El valor más estándar es de 1,6, es decir, las cargas se mayoran un 60%.

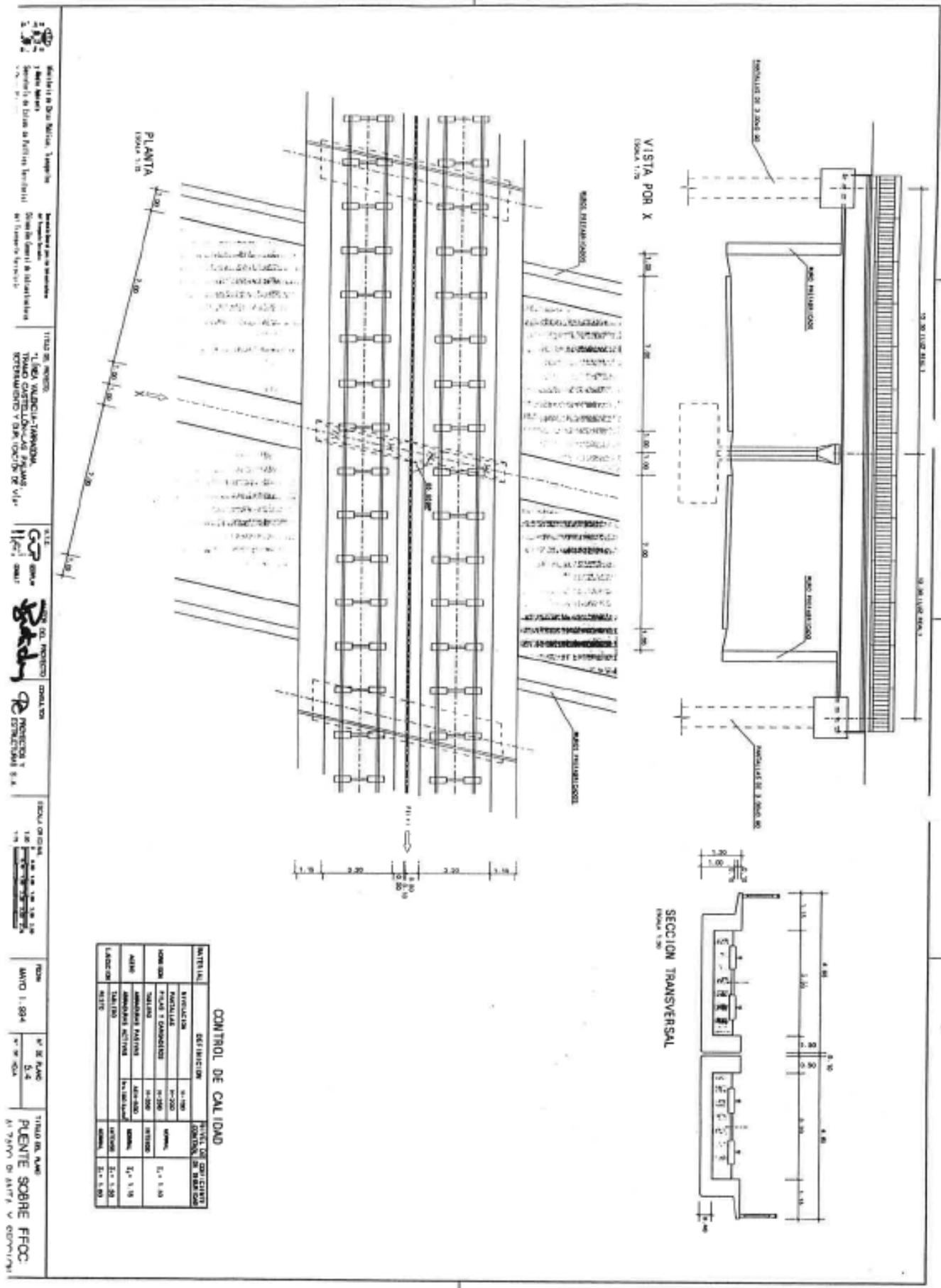
Los segundos disminuyen las resistencias esperadas para los materiales. Varían con cada material y con las condiciones de control de la ejecución. Adoptan valores pequeños (1,15) en perfiles de acero y mayores para el hormigón (1,5). Esto indica que la resistencia esperada de un material la divide entre el coeficiente adoptado.

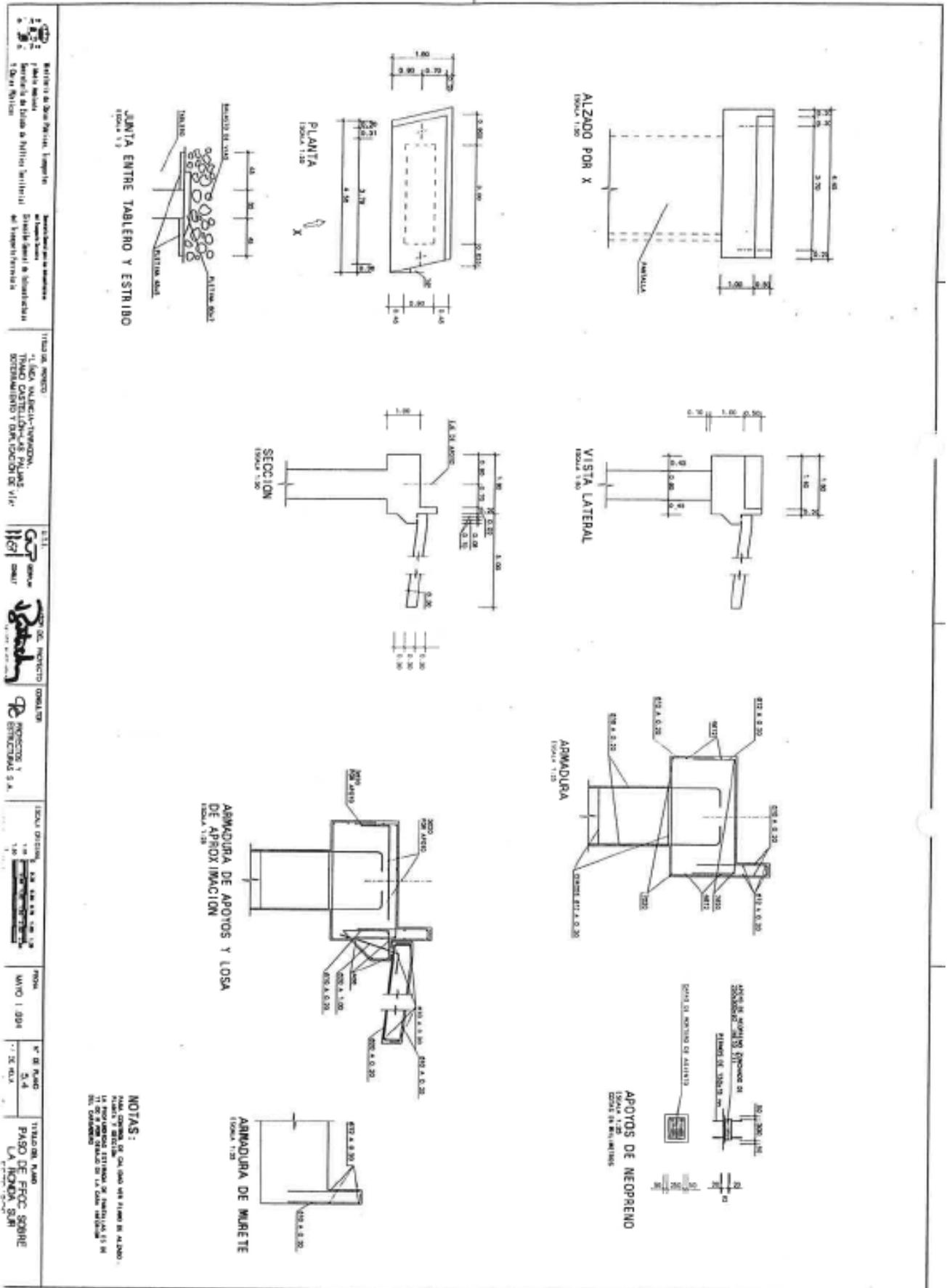
La acción simultánea de ambos coeficientes suponen un margen de seguridad sobre la peor de las situaciones previsibles de $1,5 \times 1,6$ (en hormigón), es decir 2,4. Este coeficiente conjunto es alto y, por ello, a pesar de que puedan existir problemas en los materiales o varíen las cargas, se caen pocas estructuras. Existen países con mucho menor coeficiente en los que se construye bastante más barato y se reconstruye después de cada accidente.

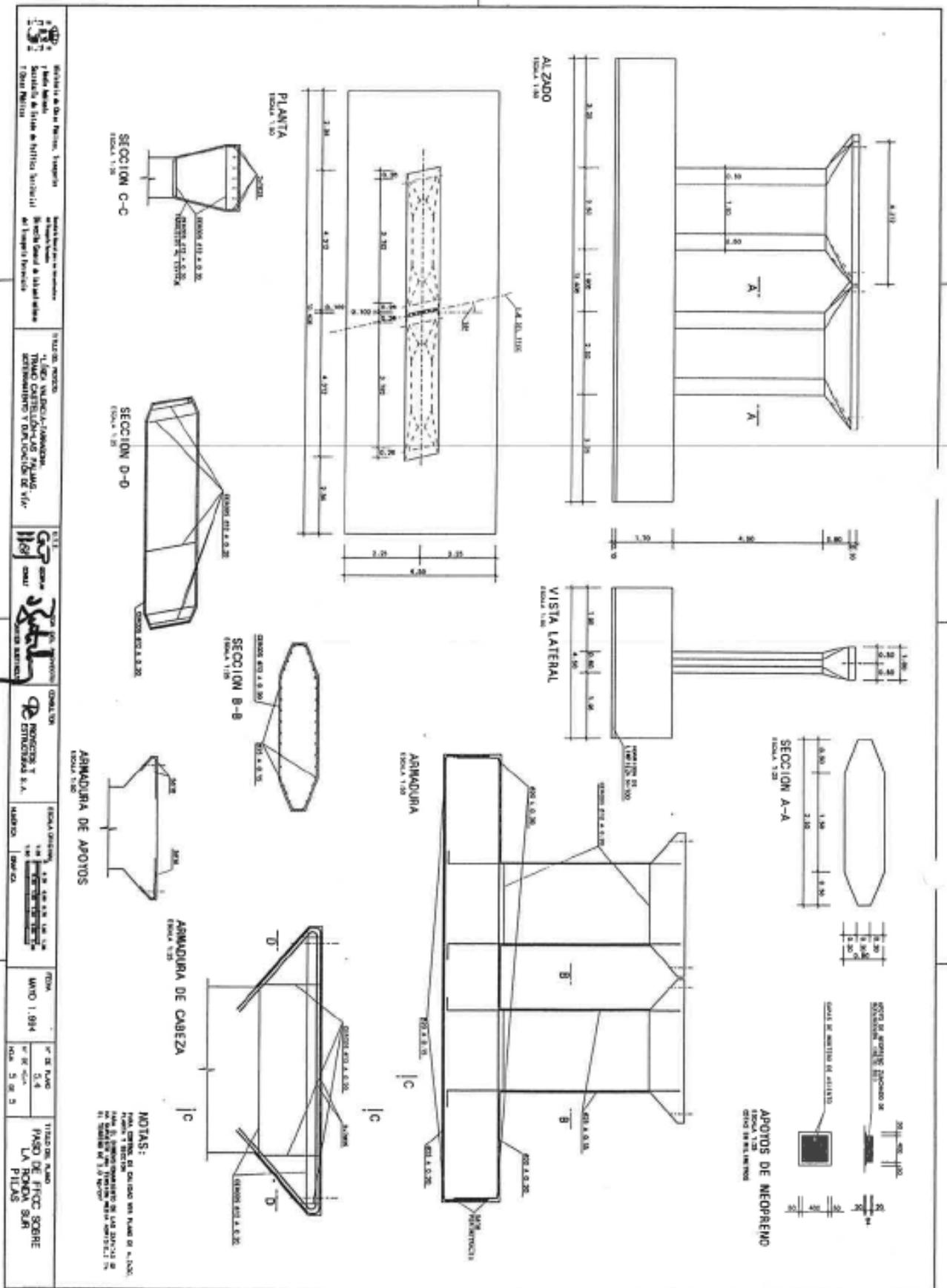
5. Planos de diseño de estructuras

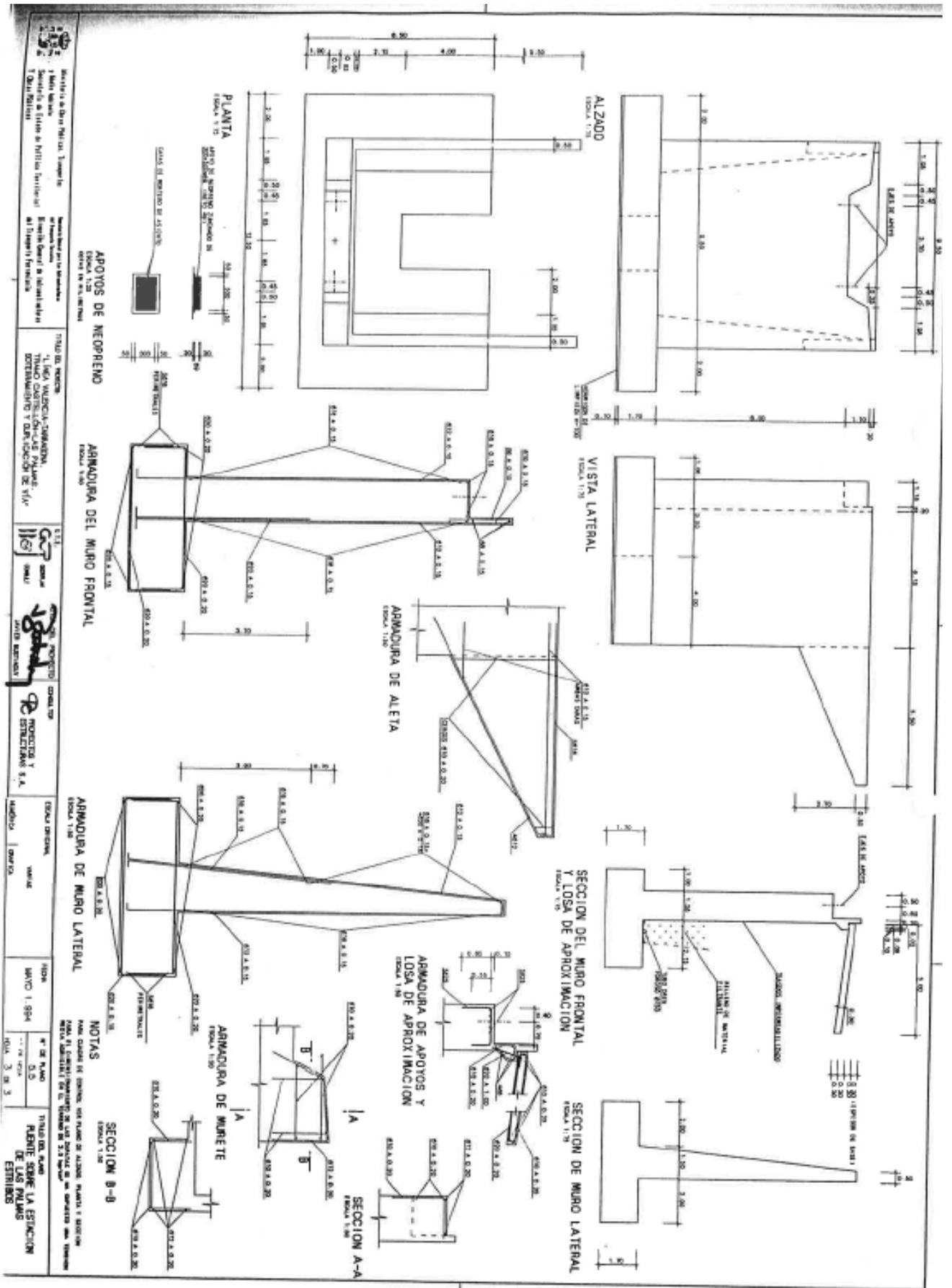
Se incluyen a continuación un conjunto de planos de distintos tipos de estructura en los que se aprecia la distribución de armaduras, tanto activas como pasivas, los coeficientes de seguridad, materiales utilizados, etc.











BIBLIOGRAFÍA

- Hormigón Armado. P. Jiménez Montoya, A. García Meseguer y F. Morán Cabré. Ed. GG
- NTE, Norma tecnológica estructuras. Ministerio de Fomento
- Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón armado para edificios. José Calavera. Ed. Intemac.
- EHE, Instrucción de hormigón estructural. Ministerio de Fomento.
- EAE, Instrucción de acero estructural. Ministerio de Fomento.