

EL CONTROL DE ESTRUCTURAS

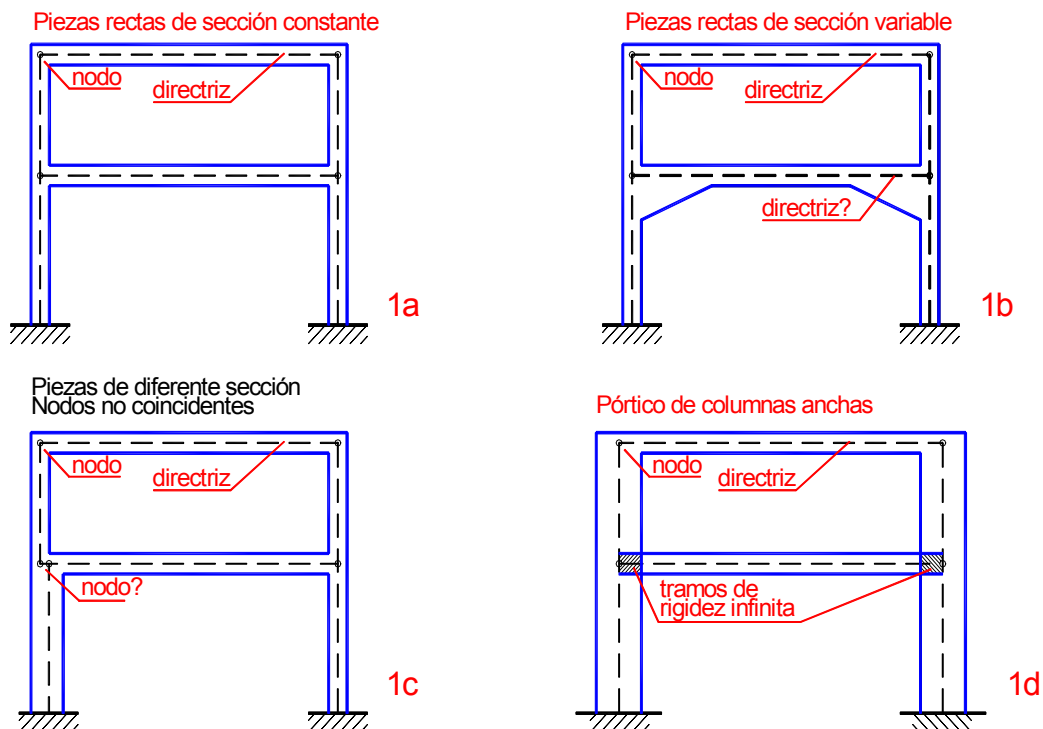
CONCEPTOS GENERALES DE CONTROL

Control como proceso estadístico → Incertidumbres

- Definición del modelo estructural
- Acciones
- Cálculo de esfuerzos
- Dimensionado de secciones

DEFINICIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

Entramado → Pórticos → Barras



Idealizaciones geométricas

ACCIONES

- **MÉTODOS DETERMINISTAS.-** Acciones y resistencias como unos valores capaces de ser fijados unívocamente y que por lo tanto son perfectamente conocidos.
- **MÉTODOS PROBABILISTAS.-** Acciones y resistencias como variables aleatorias. Probabilidad de las acciones no superen ciertos valores de cálculo o que las resistencias no sean inferiores a otros ciertos valores de cálculo.

CALCULO DE ESFUERZOS

- **MÉTODOS ELÁSTICOS.-** Válidos los principios de linealidad y de superposición.
 - **Linearidad** Si una estructura está sometida a unos esfuerzos n veces mayores que otra, los desplazamientos serán n veces mayores.
 - **Superposición** Si una estructura está sometida a una serie de estados de carga los desplazamientos serán los que correspondan a la suma de los desplazamientos obtenidos en cada uno de los estados de carga.

Ninguno de estos principios se cumplen con rigor para ningún material, más en el acero y menos en hormigón armado, pero en la mayor parte de las estructuras reales podemos admitir que se cumplen aproximadamente.

- **MÉTODOS NO ELÁSTICOS-** Tienen en cuenta los comportamientos no elásticos, tanto del material en sí como de la estructura en su conjunto.

CALCULO SE SECCIONES

Acero	→	Secciones suficientes
Hormigón armado	→	Secciones y armado

Influencia del armado en la rigidez de la sección

En los casos prácticos normalmente se predimensiona la estructura en términos de secciones, se calcula con las secciones brutas y en su caso se arma la estructura para resistir los esfuerzos obtenidos. El cálculo puede hacerse por el método clásico o el de los estados límites.

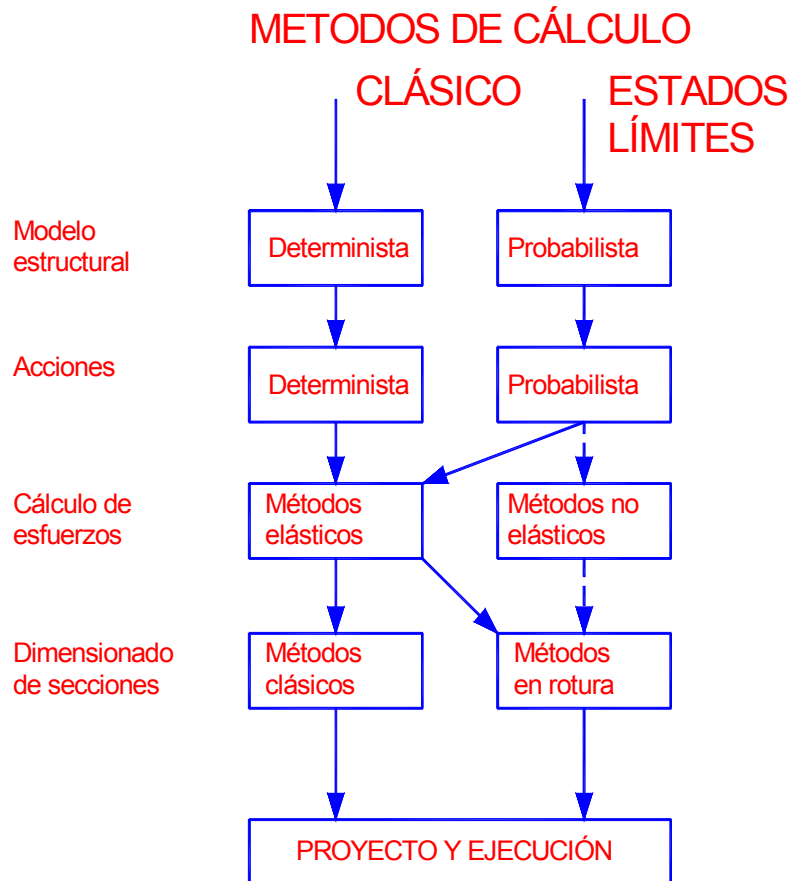
- MÉTODO CLÁSICO O DE TENSIONES ADMISIBLES

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad \begin{array}{l} s_{\max} = \text{tensión máxima} \\ s_{\text{adm}} = \text{tensión admisible} \end{array}$$

- MÉTODO EN ROTURA O DE LOS ESTADOS LIMITES.

$$\sigma_{\max}^* \leq \sigma_u \quad \begin{array}{l} s_{\max}^* = \text{tensión máxima mayorada} \\ s_u = \text{tensión admisible} \end{array}$$

ESQUEMA GENERAL DE LOS SISTEMAS DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS



CRITERIOS BÁSICOS DE CONTROL

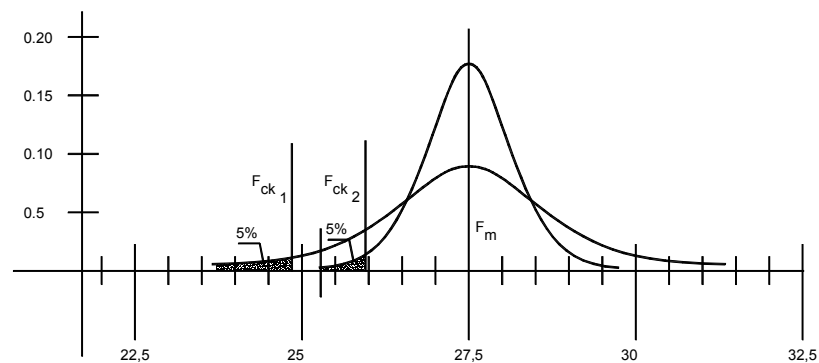
El proyecto ha de ser correcto y esto debe garantizarse con un adecuado control de proyecto.

La obra debe adecuarse a este proyecto, debidamente contrastado, lo que exigirá un control de obra.

COEFICIENTE DE SEGURIDAD: MÉTODO CLÁSICO

Paradójicamente el método clásico no da una medida de la seguridad global ni del material ni de la propia estructura.

Dos hormigones, uno muy bueno y otro muy malo, pueden tener la misma resistencia media.



En realidad el método clásico permite asegurar con alguna certeza que la estructura en servicio va a funcionar correctamente, pero hace muy difícil prever lo lejos que se está del fallo. Esto lleva naturalmente al empleo de un sólo coeficiente de seguridad, pero que en general es bastante grande.

El método clásico ha sido ampliamente usado.

En el momento actual ha sido abandonado en casi todos los casos y únicamente se siguen empleando en el cálculo de cimentaciones.

COEFICIENTES DE SEGURIDAD: MÉTODOS PROBABILISTAS

Los métodos probabilistas permiten hacer un análisis más ajustado de la realidad de la estructura.

Permiten considerar algunos hechos estadísticamente relevantes como las posibles variaciones mecánicas de los materiales o las variaciones geométricas de las secciones o el hecho de que las acciones sean aleatorias.

Los métodos probabilistas se basan en dos estimaciones estadísticas:

- En fase de proyecto estudian la probabilidad de que se produzcan acciones de una determinada intensidad y la probabilidad de que se produzca el fallo resistente del material. Conjuntamente ambos factores determinan la probabilidad global del fallo de la estructura y por tanto su nivel de seguridad.
- En fase de ejecución determinan la probabilidad de que lo realmente construido se adapte al proyecto. Esta probabilidad vendrá unívocamente definida por el control realizado. El control será un proceso de muestreo estadístico y por tanto será aleatorio.

Según la cantidad de variables aleatorias que se consideren en el análisis podremos definir dos niveles de diseño:

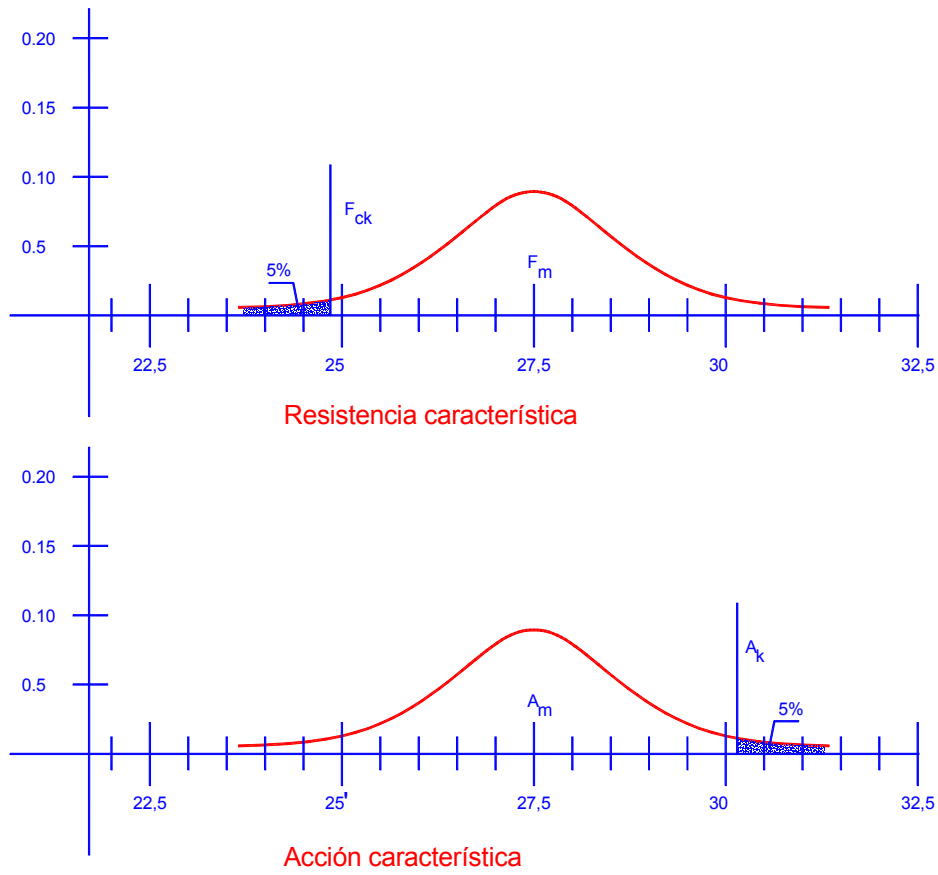
NIVEL 2.- En este caso se considerarán las principales causas de incertidumbre y se valorarán en la seguridad final. El proceso es plenamente probabilista, pero es tan complicado que apenas ha rebasado los niveles de investigación avanzada y no se emplea en la práctica.

NIVEL 1.- Consiste en considerar sólo dos variables estadísticas, que son las acciones y las resistencias de los materiales. El resto de las causas de incertidumbre se asimilan a estas dos por lo que el método es semiprobabilista. Es sencillo y frecuente en la práctica y es el que preconizan las normas de los distintos materiales.

Es importante resaltar que se consideran muchas posibles causas de incertidumbre, pero sus efectos se acumulan a sólo dos coeficientes de seguridad, en la forma que se señala en la tabla.

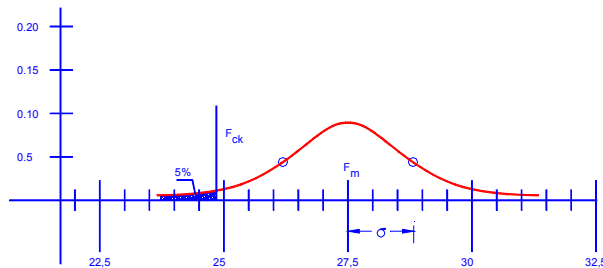
Factores aleatorios	Causas de incertidumbre	Concepto al que se adjudican en el nivel 1
Resistencia de los materiales	- Variabilidad de los materiales. - Defectos de ensayo. - Correlación probeta-realidad.	Resistencia de cálculo de los materiales.
Acciones en la edificación	- Variabilidad sobrecargas. - Variabilidad pesos propios. - Efectos dinámicos del viento o sismo.	Valor de cálculo de las acciones.
Proceso de cálculo	- Precisión de las hipótesis. - Errores numéricos. - Grado de rigor.	Valor de cálculo de las acciones.
Características geométricas y mecánicas de la estructura real	- Defectos de ejecución: - Medios auxiliares. - Disposición armaduras. - Errores hormigonado. - Coacciones no previstas. - Etc.	Resistencia de cálculo de los materiales. Valor de cálculo de las acciones.
Otros factores	- Precisión de medida. - Errores en planos. - Errores de interpretación. - Etc.	Valor de cálculo de las acciones.

Resistencia característica y acción característica



CONCEPTOS ESTADÍSTICOS ELEMENTALES

Distribución normal gaussiana.



$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x - x_m}{\sigma} \right)^2 \right]}$$

Desviación típica: Distancia entre el valor medio y el punto de inflexión.

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x_m)^2}{n}}$$

A veces se usa la desviación definida por Rüşh

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x_m)^2}{n-1}}$$

Quantil 5% : Valor que divide la curva en dos partes de las que el área de la más pequeña es el 5% del total. Este valor es fundamental para la determinación de los valores característicos y su valor es

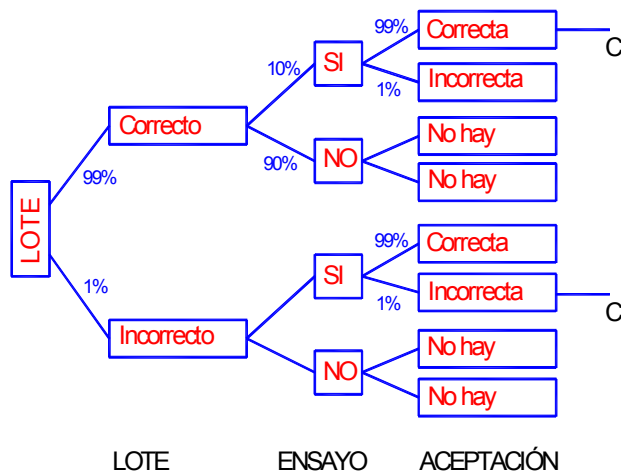
$$f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot \sigma_n \quad \text{siendo } \lambda = 1.64$$

FIABILIDAD DEL CONTROL

El control es un proceso aleatorio:

- Probabilidad de que el lote ensayado sea correcto: $f_{est} > f_{ck}$.
- Probabilidad de que la muestra se ensaye realmente.
- Probabilidad de que el ensayo sea correcto, es decir que los posibles defectos de la muestra se detecten realmente.

El conjunto de las tres probabilidades definen la fiabilidad del control



Ejemplo: Supongamos que la probabilidad de que un lote sea defectuoso es realmente de un 1% y que se ensaya un 10% de las muestras, con lo que la probabilidad de que una cierta muestra se ensaye es de un 10%. Supongamos un ensayo con una fiabilidad del 99%, es decir que sólo

hay un 1% de probabilidad de que una muestra incorrecta se de como correcta y viceversa.

Probabilidad de que se acepte un lote realmente correcto

$$p = \frac{0.99 \cdot 0.1 \cdot 0.99}{0.99 \cdot 0.1 \cdot 0.99 + 0.01 \cdot 0.1 \cdot 0.01} = \frac{0.09801}{0.09802} = 0.99989 = 99.989\%$$

Probabilidad de que se detecte por control un lote incorrecto

$$p = \frac{0.1 \cdot 0.99}{1} = 0.099 = 9.9\%$$

La fiabilidad del control depende de la intensidad del muestreo

ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA

Sea un conjunto de seis probetas, que se han ensayado obteniendo la siguiente serie de resistencias.

28.0, 27.3, 29.4, 28.9, 27.9, 29.5 (N/mm²)

Resistencia característica de la serie de probetas por medio de la teoría de la distribución normal y por medio de un estimador.

Distribución normal gaussiana.

$$f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot \sigma_n$$

$$f_m = 28.5$$

$$\sigma_n = 0.8185$$

$$\lambda = 1.64$$

$$\rightarrow f_{ck} = 27.18 \text{ N/mm}^2$$

Según artículo 88.4 de la EHE.

$$n \geq 6$$

$$f_{est} = 2 \cdot \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}}{m-1} - x_m \leq K_n \cdot x_1$$

La serie ordenada sería **27.3, 27.9, 28.0, 28.9, 29.4, 29.5**
siendo $x_m = 28.0$ (valor que ocupa la posición media)

$$f_{est} = 2 \cdot \frac{27.3 + 27.9}{2} - 28.5 = 26.7 \text{ N/mm}^2$$

$$K_n \cdot x_1 = 0.99 \cdot 27.3 = 27.0 \text{ N/mm}^2$$

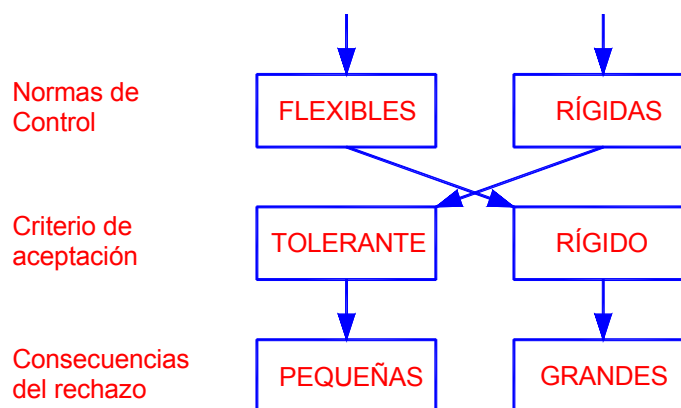
Tomamos resistencia estimada 27.0 N/mm²

K_n depende del tipo de central y del recorrido de los resultados de control.

REQUISITOS DE SEGURIDAD PROBABILISTA

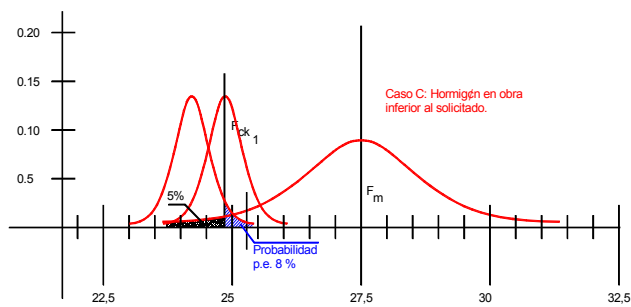
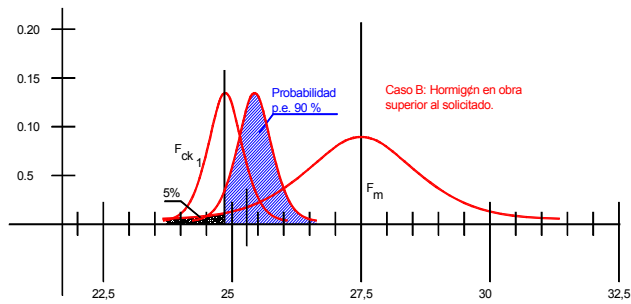
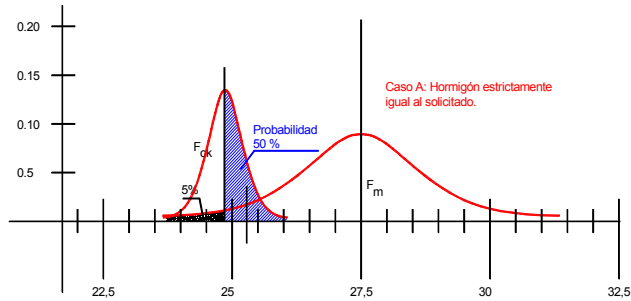
El criterio más elemental de seguridad es que la probabilidad de que la estructura sea correcta sea superior a la probabilidad de fallo.

Es necesario pero no suficiente, puesto que no nos garantiza la seguridad de la obra.



Un posible camino puede ser definir unas normas flexibles, pero a cambio fijar unos criterios de aceptación rígidos y serias consecuencias de un posible rechazo. El otro puede ser fijar una normativa de control rígida, combinada con un criterio de aceptación flexible y consecuencia limitadas. Ambos caminos permiten razonables criterios de seguridad. Lo que es totalmente inadmisibile es lo que muchas veces se observa en obra, con normas de control flexibles y hasta inexistentes, criterios de aceptación tolerantes y consecuencias pequeñas o nulas. Si estos van a ser los criterios de control, es preferible recurrir al control reducido, que por lo menos garantiza la seguridad.

CONTROL DE MATERIALES



CONTROL DE EJECUCIÓN EN LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO.

El control de ejecución, al que la norma liga el coeficiente de mayoración de acciones, depende esencialmente de la presencia del técnico en la obra. La EHE define tres niveles de control, tras dividir la obra en lotes, con las siguientes características.

- Nivel reducido: Una visitas de inspección por lote.
- Nivel normal: Visitas de inspección periódicas. Dos visitas por lote (500 m² de estructura sin rebasar dos plantas, en edificación)
- Nivel intenso: Tres inspecciones por lote, control externo y sistema de calidad propio.

CONTROLES ANTES DEL HORMIGONADO

Revisión de los planos de proyecto y de obra.

Comprobación de los medios auxiliares como hormigoneras, vibradores, cono de Abrams, moldes de probetas, aparatos de medición y laboratorio, etc.

Comprobaciones de las medidas de seguridad en obra.

Replanteo.

Andamios, apuntalamientos y cimbras.

Moldes y encofrados, así como los sistemas de rigidización de los mismos.

Trazado y puesta en obra de la armadura, así como la correcta separación del encofrado.

Juntas de hormigonado.

Precauciones previas al hormigonado en tiempo frío, en tiempo caluroso, con vientos secos o bajo lluvia.

CONTROLES DURANTE EL HORMIGONADO

Control del proceso de fabricación del hormigón, bien por su revisión directa en obra, como por el control de la documentación pertinente, cuando es de central.

Compactación del hormigón, especialmente en el caso del vibrado.
Precauciones de hormigonado en tiempo frío, en tiempo caluroso, con vientos secos o bajo lluvia.

CONTROLES DESPUÉS DEL HORMIGONADO

Curado, que como se verá es esencial para la durabilidad del hormigón.

Operaciones de descimbrado y desencofrado.

Control dimensional de las piezas, así como flechas y contraflechas, acabado de superficies, etc.

Control de las acciones durante el proceso de construcción, que en algún caso pueden ser superiores a las definitivas.

Reparación de defectos aparecidos tras el desencofrado.

EL SINIESTRO EN EDIFICACIÓN: CAUSAS Y ESTADÍSTICAS

Problemas de control y patología  Siniestro.

Entenderemos como siniestro todo aquel problema patológico de un edificio que conduce a una reclamación ante una compañía de seguros o ante un juzgado. (Patología encubierta, que simplemente arregla el constructor)

ESTADÍSTICAS

1.- recopilada por Jean Blevot en 1975, sobre un total de 2979 siniestros ocurridos entre 1948 y 1974.

CAUSA DEL SINIESTRO	%
Errores en la concepción de la estructura y problemas de estabilidad	3,5%
Errores en las hipótesis de cálculo, errores materiales y ausencia de estudios	8,5%
Disposiciones defectuosas de la armadura o de los mecanismos de transmisión de esfuerzos	2,5%
Deformaciones excesivas	19,7%
Variaciones dimensionales	43,7%
Defectos de ejecución	15,0%
Falsas maniobras de montaje	1,5%
Corrosión o efectos del hielo. Ataques químicos	4,0%
Otras causas	1,6%

2.- Vieitez y Ramírez (1984)

PAÍS	Período	Nº casos	CAUSAS en %				
			Proyecto	Ejecución	Materiales	Utiliz.	Causas natural.
U.K.	hasta 1974	510	58	35	12	11	2
Alemania	1970-80	15760	40.1	29.3	14.5	9.0	7.1
Bélgica	1976-78	1800	46	22	15	8	9
Dinamar	1972-77	601	36.6	22.2	25.0	8.7	7.5
Francia	1968-78	10000	37	51	4.5	7.5	-
España	1969-83	586	51.5	38.5	16.2	13.5	4.1
MEDIA			42	29.5	14.6	9.6	5.7

Estadística de lesiones según el tipo de edificación.

a.- Edificios de viviendas	40,1%
b.- Edificios de enseñanza	17,2%
c.- Edificios industriales	11,7%
d.- Otras edificaciones no incluidas en los anteriores apartados	19,5%

Estadística de lesiones según el elemento afectado.

a.- Lesiones en forjados	25,6%
b.- Lesiones en vigas	23,9%
c.- Lesiones en pilares	13,6%
d.- Lesiones en elementos de cimentación	19,0%
e.- Lesiones en cubiertas	16,2%
f.- Lesiones en cerramientos	22,3%
g.- Lesiones en tabiquería	15,3%

Estadística de lesiones según su forma de manifestarse (sintomatología).

a.- Fisuras	59,2%
b.- Falta de estanqueidad	8,0%
c.- Corrosión de armaduras	7,3%
d.- Baja resistencia del hormigón	9,7%
e.- Desprendimientos	10,5%
f.- Hundimientos	5,6%
g.- Deformaciones	12,6%

Estadística de lesiones según el tipo de estructura.

a.- Hormigón armado con forjados unidireccionales	68,0%
b.- Estructura mixta de hormigón y acero	7,0%
c.- Estructura metálica	7,6%
d.- Hormigón armado y muros de carga	5,4%
e.- Hormigón armado con forjados bidireccionales	2,9%
f.- Hormigón pretensado	2,7%

Estadística de lesiones según su origen.

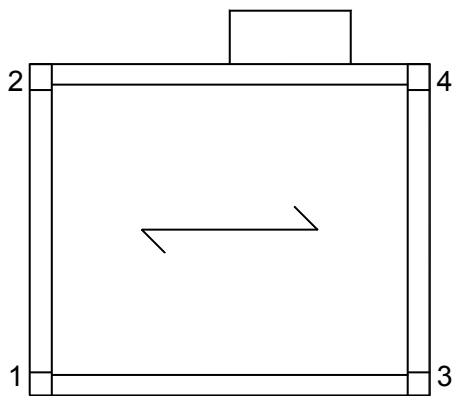
a.- Cargas y sobrecargas	10,0%
b.- Acciones climáticas	7,0%
c.- Acciones higrotérmicas	27,2%
d.- Acciones químicas	11,1%

Estadística de lesiones según sus consecuencias.

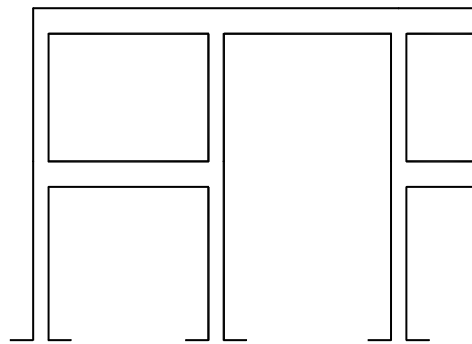
De los siniestros reseñados un 8,3% fueron casos de ruina de las que el 51,0% se manifestaron antes de los dos años de la construcción y el 65,0% se manifestaron antes de los diez años, es decir durante el período de responsabilidad decenal. El 25,2% de los casos pudieron solucionarse con refuerzos de diversos tipos, de los que el 56,7% se realizaron en los dos primeros años y el 72,2% se ejecutaron en los diez primeros años.

CONTROL DE PROYECTO

a.- La estructura debe estar en equilibrio tanto en su conjunto como en cada una de sus partes. Por ello hay que controlar aquellas partes que pueden dar origen a desequilibrios parciales, como las piezas que trabajen a torsión primaria, los voladizos desequilibrados o las piezas que puedan desequilibrarse por impactos.

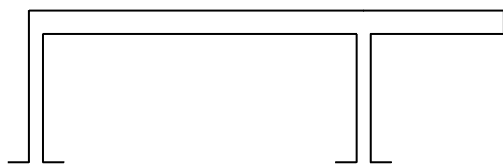


Voladizo paralelo al sentido del forjado: torsión principal

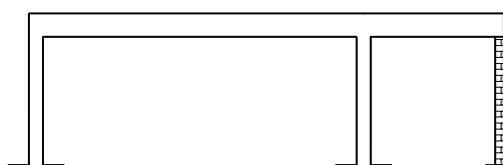
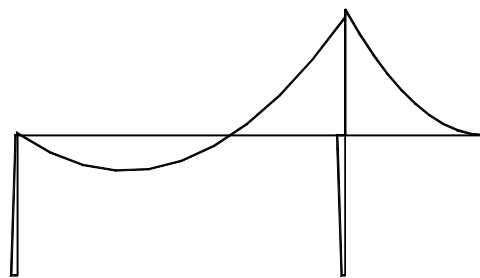


Voladizo desequilibrado por eliminación de la viga adyacente

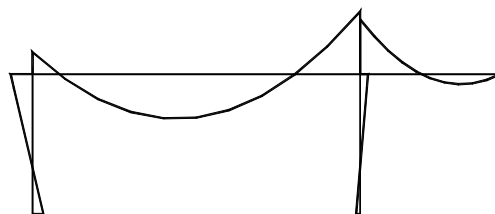
b.- Las deformaciones deben ser compatibles, tanto para los elementos como para sus uniones. Deben cuidarse especialmente aquellas piezas en las que un apoyo accidental puede cambiar su forma de trabajo.



Voladizo normal



Voladizo con la deformación limitada por el cerramiento



c.- Debe utilizarse una representación clara de los planos de estructura, de forma tal que pueda ser entendida sin confusión por otros técnicos, como señala la EHE.

- Escala suficiente
- Acotado cuidadoso
- Rotulación inequívoca de los armados
- Detalles de armado y en especial las uniones
- Anclajes sean suficientes
- Amplio despliegue de indicaciones escritas que los clarifiquen

d.- El Pliego de condiciones técnicas es un documento de la mayor importancia, en especial si la obra tiene un grado alto de complejidad o de peligrosidad.

- Definición de materiales
- Control de los mismos
- Penalizaciones definidas inequívocamente
- Fijación de responsabilidades por incumplimiento

EL CONTROL DE LA OBRA YA EJECUTADA

ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Valor esencial  resistencia característica del hormigón.

Ensayos del hormigón:

- Probetas testigo
- Ensayos esclerométricos
- Ultrasonidos
- Combinación entre esclerómetro y ultrasonidos
- Pruebas de carga.

Ensayos del acero:

- Resistencia (ensayo de tracción)
- Armado realmente existente (rozas o pachómetro)

ESTRUCTURAS METÁLICAS:

Resistencia del acero

Soldadura:

- Ensayos de líquidos penetrantes
- Gammagrafía.

ESTRUCTURAS DE MADERA:

Estado de conservación. Los ensayos a realizar estarán orientados a detectar los diversos ataques a los que puede estar expuesta, como pudriciones, insectos, etc.

ESTRUCTURAS DE FÁBRICA:

Los parámetros esenciales son las resistencias del material base y del mortero. En general la técnica más corriente es la extracción de probetas testigo.

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Necesarios cuando:

- Se detecten bajas en la resistencia del hormigón
- Se pretende aumentar las acciones sobre la estructura
- Por cambio de uso
- Se detecten fallos patológicos de la estructura
- Para determinar la capacidad residual de la estructura tras un siniestro
- Para peritar un siniestro

ENSAYOS DESTRUCTIVOS.- Cuando afectan a la estructura

- Probetas testigo
- Pruebas de carga al límite

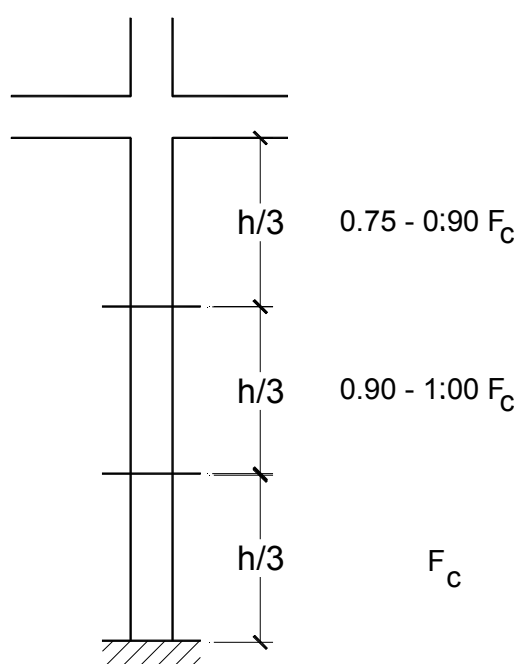
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.- Cuando no producen ningún daño sobre la misma.

- Esclerómetro
- Ultrasonidos
- Pruebas de carga normales

La EHE apenas da datos de estos ensayos con la excepción de las pruebas de carga. En general es posible encontrar mejor información en las normas A.C.I., A.S.T.M., D.I.N. y U.N.E.

PROBETAS TESTIGO

- Son piezas de hormigón extraídas de la obra real, generalmente con sondas rotatorias.
- Permiten conocer la resistencia real del hormigón puesto en obra, con todas las incidencias que haya podido soportar.
- En general son cilíndricas de $\varnothing = 15 \text{ cm}$ y $h = 30 \text{ cm}$.
- Si tienen otras dimensiones, se deben corregir los resultados obtenidos
- Lo normal es que la resistencia de las probetas testigo sea inferior a la de las probetas obtenidas en el control cuando se hormigonó.
- La extracción de las probetas testigo no debe realizarse antes de 14 días del hormigonado. Debe elegirse con cuidado el lugar del que se extraen, puesto que la sección resistente puede quedar debilitada.
- Lugares recomendados: Muros de ascensor
Rampas de escalera



En vigas y pilares: Puntos de momento nulo, que en las vigas suelen corresponder a $1/5$ de la luz y en pilares a la mitad de su altura.

En pilares hacer un estudio esclerométrico, para detectar zonas débiles

En cuanto al número de probetas testigo, no está definido en la EHE. Puede ser orientativo lo especificado por algunas normas extranjeras

A.C.I. - 318
A.C.I. - 437
D.I.N. - 1048

Tres por zona
Dos por cada $58,1 \text{ m}^2$
Seis si $\varphi > 100 \text{ mm}$
Doce si $\varphi < 100 \text{ mm}$ o si dimens. max árido $< 16 \text{ mm}$

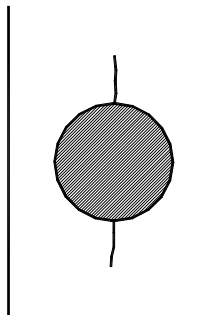
Corrección por altura

Relación	Factor de corrección por altura de la probeta		
h/d	ASTM C42-77	BS 1881-70	UNE 7242
2.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98	0.98
1.50	0.96	0.96	0.96
1.25	0.93	0.94	0.94
1.00	0.87	0.92	0.85

Resistencia estimada A.C.I. - 318-71: Tres testigos de cada zona.

$$f_{ck, est} = \frac{\text{media de los resultados}}{0.85}$$

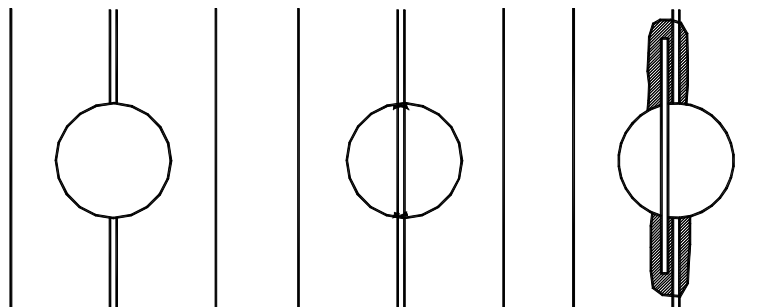
$$f_{ck, est} = \frac{\text{menor valor obtenido}}{0.75}$$



Reparación: Relleno por un mortero adecuado, tras pintar la superficie interior del agujero con resina epoxi.

Si la pérdida de sección es menor del 30% no se precisa apuntalamiento, pero la aparición de fisuras como las de la figura obligarán a apuntalar de forma inmediata.

Reparación de armadura



ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

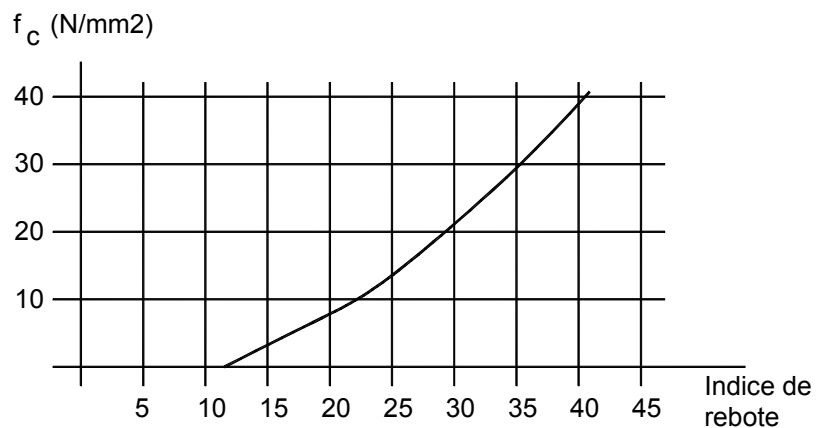
Entendemos como tales aquellos que nos permiten determinar la resistencia de una estructura sin dañarla en ningún modo.

ESTUDIO ESCLEROMÉTRICO

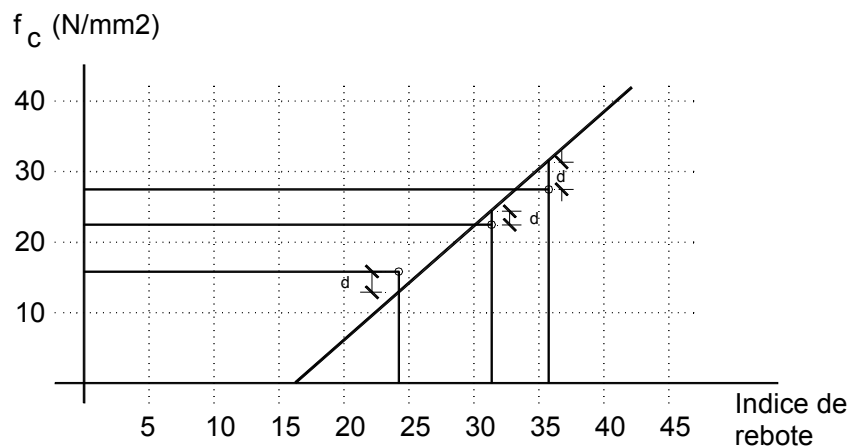
Se realiza midiendo con un esclerómetro la dureza superficial del hormigón.

Los fenómenos que afectan a la superficie del hormigón, como corrosiones, heladas, incendios, etc. pueden falsear de tal modo este ensayo que lo conviertan en inútil.

Curva de rebote



Tarado del esclerómetro



Se define una recta de regresión. Para ello necesitamos datos exactos, que pueden obtenerse efectuando ensayos esclerométricos a una serie de probetas testigo, antes de ensayarlas.

$$f_i = a \cdot N_i + b$$

Condiciones de mínimo

$$F(a,b) = \sum_{i=1}^n [f_i - (a \cdot N_i + b)]^2 = \min$$

La condición de mínimo será

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial b} = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (f_i - a \cdot N_i - b) \cdot N_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (f_i - a \cdot N_i - b) = 0$$

Si la desviación cuadrática media es inferior al 20% podemos utilizar el ensayo esclerométrico con confianza

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_m)^2}{n}}$$

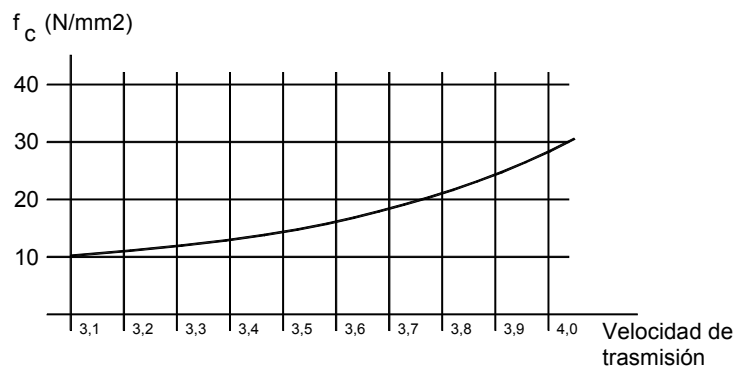
ENSAYO DE ULTRASONIDOS

En el ensayo de ultrasonidos se determina el módulo de elasticidad dinámico del mismo, por el tiempo que un tren de ondas tarda en atravesar un espesor dado de hormigón. Se emplean aparatos especiales que generan y miden ondas generalmente entre 50 y 100 kc/seg y miden su velocidad de propagación, que sería

$$V_l = \sqrt{\frac{E_d \cdot g}{\gamma} \cdot \frac{1-\nu}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}}$$

$$E_d = V_l^2 \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu}$$

Correlación entre la velocidad y la resistencia del hormigón:



Al ser una función exponencial se toman logaritmos para definir la curva de regresión

$$f_i = \alpha \cdot V_i^\beta \quad \Rightarrow \quad \ln f_i = \alpha + \beta \cdot \ln V_i$$

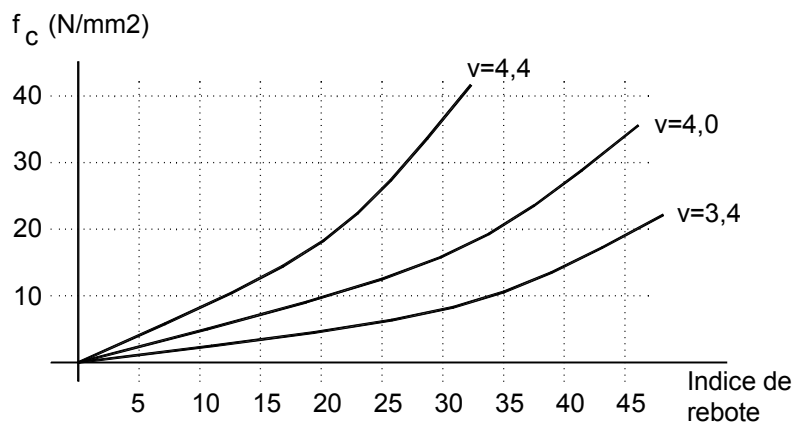
$$F(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n [\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln V_i]^2 = \min$$

La condición de mínimo será $\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0$ $\frac{\partial F}{\partial \beta} = 0$

$$\sum_{i=1}^n (\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln V_i) \cdot \ln V_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln V_i) = 0$$

Correlación doble con los resultados del ensayo esclerométrico.



Se hace un tarado exponencial, definiendo una serie de curvas de distintas velocidades de propagación. Medido el índice de rebote y la velocidad de

propagación es fácil obtener con gran fiabilidad la resistencia característica del hormigón.

$$f_i = \alpha \cdot N_i^\beta \cdot V_i^\gamma \quad \Rightarrow \quad \ln f_i = \alpha + \beta \cdot \ln N_i + \gamma \cdot \ln V_i$$

$$F(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n [\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln N_i - \gamma \cdot \ln V_i]^2 = \min$$

La condición de mínimo será $\frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial \beta} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial \gamma} = 0$

$$\sum_{i=1}^n (\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln N_i - \gamma \cdot \ln V_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln N_i - \gamma \cdot \ln V_i) \cdot \ln N_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (\ln f_i - \alpha - \beta \cdot \ln N_i - \gamma \cdot \ln V_i) \cdot \ln V_i = 0$$

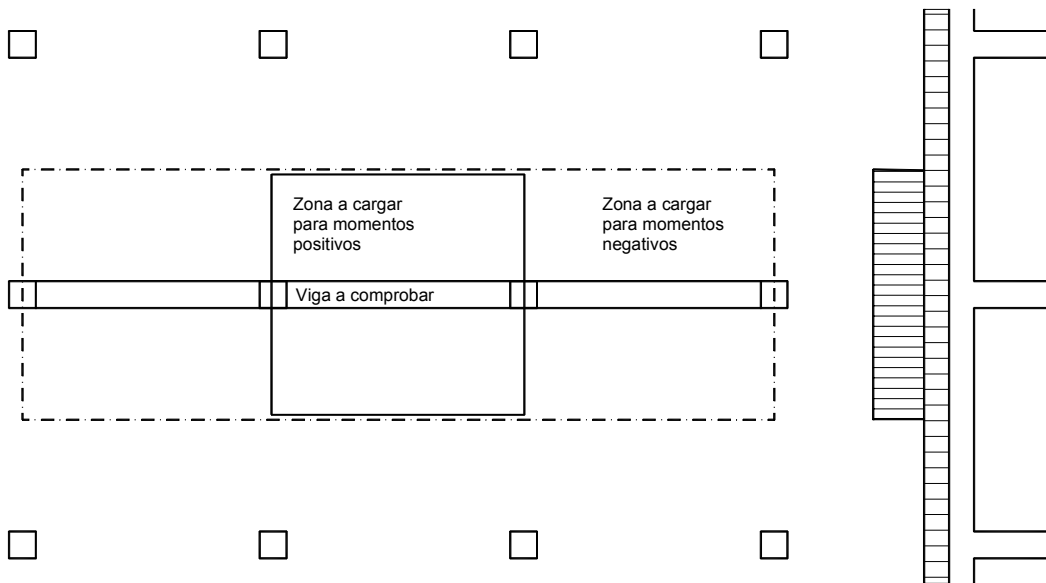
PRUEBAS DE CARGA

La prueba de carga es un ensayo, normalmente no destructivo, que debe aplicarse a elementos flexados, como vigas y forjados. Consiste en cargar un elemento estructural con una carga similar a la prevista y medir la evolución de sus deformaciones por medio de flexímetros.

En obras públicas la prueba de carga es preceptiva en puentes de ferrocarril y carretera y exige el concurso de empresas muy especializadas. En cambio en edificación la prueba de carga suele utilizarse como ensayo informativo sobre una estructura que presenta problemas de patología o en la que se prevé un cambio de uso. La norma distingue dos casos.

- Pruebas de carga como información complementaria.- Son aquellas pruebas cuyo objetivo es obtener datos de la estructura que no se refieran a su capacidad resistente. En este caso se recomienda no superar las cargas de servicio.
- Pruebas de evaluación de la capacidad resistente.- Son las que tienen como objetivo evaluar la seguridad de la estructura. La norma exige la redacción de un Plan de Ensayos e indica que la carga será una fracción de la carga de cálculo, superior a la carga de servicio, que fija, siguiendo el criterio de la norma americana A.C.I. en el 85% de la carga última.

$$q = 0,85 \cdot (1,35 \cdot \text{concarga} + 1,5 \cdot \text{sobrecarga})$$



Determinación de la zona a cargar. ➡

Compensación de carga

En el caso de forjados debe ensayarse al menos cinco viguetas.

PROCESO OPERATIVO

- Cargar al menos en cuatro escalones separados por 15 minutos
- Tras cada escalón se mide la deformación
- Terminado el último escalón se espera 24 horas y se mide la deformación diferida
- Se descarga por escalones midiendo las deformaciones tras cada uno de ellos
- Se espera otras 24 horas y se mide la deformación residual.

La EHE considera válido el ensayo si se cumplen las siguientes condiciones:

- No aparecen fisuras no previstas y que comprometan la seguridad o la durabilidad de la pieza.
- La flecha obtenida es menor que $l^2/20000 h$ siendo l la luz de cálculo y h el canto. Hay que tener en cuenta que para un voladizo l es el doble de la distancia entre el apoyo y el extremo.
- Si la flecha máxima es mayor que $l^2/20000 h$, la deformación remanente será menor a $1/4$ de la deformación máxima en elementos de hormigón armado y a $1/5$ en elementos pretensados. Si no lo es se repite la prueba pasadas 72 horas y se exige ahora que la deformación residual sea inferior a $1/5$ de la máxima en esta prueba.

Muchas veces las pruebas de carga presentan muchas más dificultades de ejecución que las que a primera vista pudiera parecer. Conviene tener en cuenta las siguientes recomendaciones que nos da la experiencia.

- Hay que asegurarse que la tabiquería inferior no falsea los resultados, por lo que muchas veces es preciso cortar los tabiques en su parte superior.

- Cuando se emplean sacos de cemento o arena como carga, no se puede descargar de forma inmediata si algo sale mal. Por ello hay que prever un apuntalamiento de emergencia que no afecte a la deformación del elemento ensayado, pero que evite un posible hundimiento. Generalmente se construye un andamiaje separado unos centímetros para permitir la deformación del elemento a ensayar.

- Cuando se emplea agua como carga conviene recordar que una piscina tarda un tiempo considerable en llenarse. Además hay que prever que si hay que descargarla por emergencia, el agua ha de tener una salida controlada.