

## **DB SE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL**

### **1 Generalidades**

#### **1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas**

1 Se establecerán los principios y los requisitos relativos a la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio, así como la aptitud al servicio, incluyendo su durabilidad. Describirán las bases y los principios para el cálculo de las mismas. La ejecución, la utilización, la inspección y el mantenimiento se tratan en la medida en la que afectan a la elaboración del proyecto.

2 Los preceptos del DB-SE son aplicables a todos los tipos de edificios, incluso a los de carácter provisional.

3 Se denomina capacidad portante a la aptitud de un edificio para asegurar, con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria, durante un tiempo determinado, denominado periodo de servicio. La aptitud de asegurar el funcionamiento de la obra, el confort de los usuarios y de mantener el aspecto visual, se denomina aptitud al servicio.

4 A falta de indicaciones específicas, como periodo de servicio se adoptará 50 años

#### **1.2 Prescripciones aplicables conjuntamente con DB-SE**

1 El DB-SE constituye la base para los Documentos Básicos siguientes y se utilizará conjuntamente con ellos:

- DB-SE-AE Acciones en la edificación
- DB-SE-C Cimientos
- DB-SE-A Acero
- DB-SE-F Fábrica
- DB-SE-M Madera
- DB-SI Seguridad en caso de incendio

2 Deberán tenerse en cuenta, además, las especificaciones de la normativa siguiente:

- NCSE Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación
- EHE Instrucción de hormigón estructural
- EFHE Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados

### **2 Documentación**

#### **2.1 Documentación del proyecto**

1 En relación con la seguridad estructural, incluirá la información que se indica en los siguientes apartados. Esta documentación se completará con la específica que se detalle, en su caso, en cada uno de los restantes DB relativos a la seguridad estructural que se utilicen conjuntamente con éste.

2 Cuando el director de obra autorice modificaciones a lo proyectado, lo hará constar expresamente en el Libro de Órdenes.

### **2.1.1 Memoria**

1 En la memoria del proyecto se incluirá el programa de necesidades, en el que se describirán aquellas características del edificio y del uso previsto que condicionan las exigencias de seguridad estructural, tanto en lo relativo a la capacidad portante como a la aptitud al servicio.

2 En las bases de cálculo y en su caso, en el anejo de cálculo se incluirán los siguientes datos:

- a) el periodo de servicio previsto, si difiere de 50 años;
- b) las simplificaciones efectuadas sobre el edificio para transformarlo en uno o varios modelos de cálculo, que se describirán detalladamente, indicando el tipo estructural adoptado para el conjunto y sus partes, las características de las secciones, tipo de conexiones y condiciones de sustentación;
- c) las características mecánicas consideradas para los materiales estructurales y para el terreno que lo sustenta, o en su caso actúa sobre el edificio;
- d) la geometría global (especificando las dimensiones a ejes de referencia) y cualquier elemento que pueda afectar al comportamiento o a la durabilidad de la estructura;
- e) las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio, incluida la durabilidad, si difieren de las establecidas en este documento;
- f) las acciones consideradas, las combinaciones efectuadas y los coeficientes de seguridad utilizados;
- g) de cada tipo de elemento estructural, la modalidad de análisis efectuado y los métodos de cálculo empleados; y
- h) en su caso, la modalidad de control de calidad previsto.

Si el proyecto se desarrolla en dos fases (proyecto básico y proyecto de ejecución), en el proyecto básico se incluirá, al menos, la información indicada en los puntos a) y d), así como las acciones de aplicación al caso, los materiales previstos y los coeficientes de seguridad aplicables.

3 Los cálculos realizados con ordenador se completarán identificando los programas informáticos utilizados en cada una de las partes que han dado lugar a un tratamiento diferenciado, indicando el objeto y el campo de aplicación del programa y explicando con precisión, la representación de los datos introducidos y el tipo de los resultados generados por el programa.

### **2.1.2 Planos**

1 Los planos del proyecto correspondientes a la estructura deben ser suficientemente precisos para la exacta realización de la obra, a cuyos efectos se

podrán deducir también de ellos los planos auxiliares de obra o de taller, en su caso, y las mediciones que han servido de base para las valoraciones pertinentes.

2 Los planos contendrán los detalles necesarios para que el constructor, bajo las instrucciones del director de obra, pueda ejecutar la construcción, y en particular, los detalles de uniones y nudos entre elementos estructurales.

3 Si el proyecto se desarrolla en dos fases (proyecto básico y proyecto de ejecución), los planos del proyecto básico deben ser lo suficientemente precisos para la definición del tipo estructural previsto y el establecimiento de las reservas geométricas para la realización de la estructura.

### **2.1.3 Pliego de condiciones**

1 En el pliego de condiciones del proyecto se incluirán las prescripciones técnicas particulares exigibles a los productos, equipos y sistemas y a la ejecución de cada unidad de obra.

2 Incluirá las condiciones en la ejecución de las obras definiendo, en su caso, la modalidad de control de calidad, el control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas, el control de ejecución de la obra y el control de la obra terminada, estableciendo la documentación exigible. Asimismo, se establecerá el plazo de garantía de cada componente.

3 Si para una misma obra se prevén distintos tipos de un mismo producto, se detallarán separadamente cada uno de ellos, indicándose las zonas en que habrán de ser empleados.

4 En el pliego se exigirá, cuando sea oportuno o cuando esté reglamentado, la colocación en el lugar de la obra que especifique, de una placa con el valor máximo de la sobrecarga admisible para el uso de esa zona del edificio.

## **2.2 Documentación final de la obra**

1 La documentación final de obra incluirá los planos completos de todos los elementos y partes de la obra, que reflejen con precisión la obra realmente construida, así como la documentación acreditativa de que es conforme con el CTE.

2 Asimismo, incluirá la documentación acreditativa de que se han cumplido las especificaciones de control de calidad especificadas en el proyecto, en las instrucciones de la dirección facultativa y en el CTE.

## **2.3 Instrucciones de uso y plan de mantenimiento**

1 En las instrucciones de uso se recogerá toda la información necesaria para que el uso del edificio sea conforme a las hipótesis adoptadas en las bases de cálculo.

2 De toda la información acumulada sobre una obra, las instrucciones de uso incluirán aquellas que resulten de interés para la propiedad y para los usuarios, que como mínimo será:

- a) las acciones permanentes;
- b) las sobrecargas de uso;
- c) las deformaciones admitidas, incluidas las del terreno, en su caso;

- d) las condiciones particulares de utilización, como el respeto a las señales de limitación de sobrecarga, o el mantenimiento de las marcas o bolardos que definen zonas con requisitos especiales al respecto;
- e) en su caso, las medidas adoptadas para reducir los riesgos de tipo estructural.

3 El plan de mantenimiento, en lo correspondiente a los elementos estructurales, se establecerá en concordancia con las bases de cálculo y con cualquier información adquirida durante la ejecución de la obra que pudiera ser de interés, e identificará:

- a) el tipo de los trabajos de mantenimiento a llevar a cabo;
- b) lista de los puntos que requieran un mantenimiento particular;
- c) el alcance, la realización y la periodicidad de los trabajos de conservación;
- d) un programa de revisiones.

### **3 Análisis estructural y dimensionado**

#### **3.1 Generalidades**

1 La comprobación estructural de un edificio requiere:

- a) determinar las situaciones de dimensionado que resulten determinantes.
- b) establecer las acciones que deben tenerse en cuenta y los modelos adecuados para la estructura.
- c) realizar el análisis estructural, adoptando métodos de cálculo adecuados a cada problema.
- d) verificar que, para las situaciones de dimensionado correspondientes, no se sobrepasan los estados límite.

2 En las verificaciones se tendrán en cuenta los efectos del paso del tiempo (acciones químicas, físicas y biológicas; acciones variables repetidas) que pueden incidir en la capacidad portante o en la aptitud al servicio, en concordancia con el periodo de servicio.

3 Las situaciones de dimensionado deben englobar todas las condiciones y circunstancias previsibles durante la ejecución y la utilización de la obra, teniendo en cuenta la diferente probabilidad de cada una. Para cada situación de dimensionado, se determinarán las combinaciones de acciones que deban considerarse.

4 Las situaciones de dimensionado se clasifican en:

- a) persistentes, que se refieren a las condiciones normales de uso;
- b) transitorias, que se refieren a unas condiciones aplicables durante un tiempo limitado (no se incluyen las acciones accidentales);
- c) extraordinarias, que se refieren a unas condiciones excepcionales en las que se puede encontrar, o a las que puede estar expuesto el edificio (acciones accidentales).

#### **3.2 Estados límite**

1 Se denominan estados límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguna de los requisitos estructurales para las que ha sido concebido.

##### **3.2.1 Estados límite últimos**

1 Los estados límite últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo.

2 Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- a) pérdida del equilibrio del edificio, o de una parte estructuralmente independiente, considerado como un cuerpo rígido;
- b) fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura o de parte de ella en un mecanismo, rotura de sus elementos estructurales (incluidos los apoyos y la cimentación) o de sus uniones, o inestabilidad de elementos estructurales incluyendo los originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga).

### **3.2.2 Estados límite de servicio**

1 Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento de del edificio o a la apariencia de la construcción.

2 Los estados límite de servicio pueden ser reversibles e irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas las acciones que las han producido.

3 Como estados límite de servicio deben considerarse los relativos a:

- a) las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecten a la apariencia de la obra, al confort de los usuarios, o al funcionamiento de equipos e instalaciones;
- b) las vibraciones que causen una falta de confort de las personas, o que afecten a la funcionalidad de la obra;
- c) los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra.

## **3.3 Variables básicas**

### **3.3.1 Generalidades**

1 El análisis estructural se realiza mediante modelos en los que intervienen las denominadas variables básicas, que representan cantidades físicas que caracterizan las acciones, influencias ambientales, propiedades de materiales y del terreno, datos geométricos, etc. Si la incertidumbre asociada con una variable básica es importante, se considerará como variable aleatoria.

2 Cuando se realice una verificación mediante métodos de análisis de la fiabilidad según el Anejo C puede emplearse directamente la representación probabilista de las variables.

### **3.3.2 Acciones**

#### **3.3.2.1 Clasificación de las acciones**

1 Las acciones a considerar en el cálculo se clasifican por su variación en el tiempo en:

- a) acciones permanentes (G): Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio con posición constante. Su magnitud puede ser constante (como el peso propio de los elementos constructivos o las acciones y empujes del terreno) o no (como las acciones reo lógicas o el pretensado), pero con variación despreciable o tendiendo monótonamente hasta un valor límite.

b) acciones variables (Q): Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como las debidas al uso o las acciones climáticas.

c) acciones accidentales (A): Son aquellas cuya probabilidad de ocurrencia es pequeña pero de gran importancia, como sismo, incendio, impacto o explosión. Las deformaciones impuestas (asientos, retracción, etc.) se considerarán como acciones permanentes o variables, atendiendo a su variabilidad.

2 Las acciones también se clasifican por:

a) su naturaleza: en directas o indirectas;

b) su variación espacial: en fijas o libres;

c) la respuesta estructural: en estáticas o dinámicas.

3 La magnitud de la acción se describe por diversos valores representativos, dependiendo de las demás acciones que se deban considerar simultáneas con ella, tales como valor característico, de combinación, frecuente y casi permanente.

### **3.3.2.2 Valor característico**

1 El valor característico de una acción,  $F_k$ , se define, según el caso, por su valor medio, por un fractil superior o inferior, o por un valor nominal.

2 Como valor característico de las acciones permanentes,  $G_k$ , se adopta, normalmente, su valor medio.

En los casos en los que la variabilidad de una acción permanente pueda ser importante (con un coeficiente de variación superior entre 0,05 y 0,1, dependiendo de las características de la estructura), o cuando la respuesta estructural sea muy sensible a la variación de la misma, se considerarán dos valores característicos: un valor característico superior, correspondiente al fractil del 95% y un valor característico inferior, correspondiente al fractil 5%, suponiendo una distribución estadística normal.

3 Para la acción permanente debida al pretensado,  $P$ , se podrá definir, en cada instante  $t$ , un valor característico superior,  $P_k, \text{sup}(t)$ , y un valor característico inferior,  $P_k, \text{inf}(t)$ . En algunos casos, el pretensado también se podrá representar por su valor medio,  $P_m(t)$ .

4 Como valor característico de las acciones variables,  $Q_k$ , se adopta, normalmente, alguno de los siguientes valores:

a) un valor superior o inferior con una determinada probabilidad de no ser superado en un periodo de referencia específico;

b) un valor nominal, en los casos en los que se desconozca la correspondiente distribución estadística.

5 En el caso de las acciones climáticas, los valores característicos están basados en una probabilidad anual de ser superado de 0,02, lo que corresponde a un periodo de retorno de 50 años.

6 Las acciones accidentales se representan por un valor nominal. Este valor nominal se asimila, normalmente, al valor de cálculo.

### **3.3.2.3 Otros valores representativos**

1 El valor de combinación de una acción variable representa su intensidad en caso de que, en un determinado periodo de referencia, actúe simultáneamente con otra acción variable, estadísticamente independiente, cuya intensidad sea extrema. En este DB se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente  $\psi_0$ .

2 El valor frecuente de una acción variable se determina de manera que sea superado durante el 1% del tiempo de referencia. En este DB se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente  $\psi_1$ .

3 El valor casi permanente de una acción variable se determina de manera que sea superado durante el 50% del tiempo de referencia. En este DB se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente  $\psi_2$ .

#### **3.3.2.4 Acciones dinámicas**

1 Las acciones dinámicas producidas por el viento, un choque o un sismo, se representan a través de fuerzas estáticas equivalentes. Según el caso, los efectos de la aceleración dinámica estarán incluidos implícitamente en los valores característicos de la acción correspondiente, o se introducirán mediante un coeficiente dinámico.

#### **3.3.3 Datos geométricos**

1 Los datos geométricos se representan por sus valores característicos, para los cuales en el proyecto se adoptarán los valores nominales deducidos de los planos. En el caso de que se conozca su distribución estadística con suficiente precisión, los datos geométricos podrán representarse por un determinado fractil de dicha distribución.

2 Si las desviaciones en el valor de una dimensión geométrica pueden tener influencia significativa en la fiabilidad estructural, como valor de cálculo debe tomarse el nominal más la desviación prevista.

#### **3.3.4 Materiales**

1 Las propiedades de la resistencia de los materiales o de los productos se representan por sus valores característicos.

2 En el caso de que la verificación de algún estado límite resulte sensible a la variabilidad de alguna de las propiedades de un material, se considerarán dos valores característicos, superior e inferior, de esa propiedad, definidos por el fractil 95% o el 5% según que el efecto sea globalmente desfavorable o favorable.

3 Los valores de las propiedades de los materiales o de los productos podrán determinarse experimentalmente a través de ensayos. Cuando sea necesario, se aplicará un factor de conversión con el fin de extrapolar los valores experimentales en valores que representen el comportamiento del material o del producto en la estructura o en el terreno.

4 Las propiedades relativas a la rigidez estructural, se representan por su valor medio. No obstante, dependiendo de la sensibilidad del comportamiento estructural frente a la variabilidad de estas características, será necesario emplear valores superiores o inferiores al valor medio (por ejemplo en el análisis de problemas de inestabilidad). En cualquier caso, se tendrá en cuenta la dependencia de estas propiedades respecto de la duración de la aplicación de las acciones.

5 A falta de prescripciones en otro sentido, las características relativas a la dilatación térmica se representan por su valor medio.

### **3.4 Modelos para el análisis estructural**

1 El análisis estructural se basará en modelos adecuados del edificio que proporcionen una previsión suficientemente precisa de dicho comportamiento, y que permitan tener en cuenta todas las variables significativas y que reflejen adecuadamente los estados límite a considerar.

2 Se podrán establecer varios modelos estructurales, bien complementarios, para representar las diversas partes del edificio, o alternativos, para representar más acertadamente distintos comportamientos o efectos.

3 Se usarán modelos específicos en las zonas singulares de una estructura en las que no sean aplicables las hipótesis clásicas de la teoría de la resistencia de materiales.

4 Las condiciones de borde o sustentación aplicadas a los modelos deberán estar en concordancia con las proyectadas.

5 Se tendrán en cuenta los efectos de los desplazamientos y de las deformaciones en caso de que puedan producir un incremento significativo de los efectos de las acciones.

6 El modelo para la determinación de los efectos de las acciones dinámicas tendrá en cuenta todos los elementos significativos con sus propiedades (masa, rigidez, amortiguamiento, resistencia, etc).

7 El modelo tendrá en cuenta la cimentación y la contribución del terreno en el caso de que la interacción entre terreno y estructura sea significativa.

8 El análisis estructural se puede llevar a cabo exclusivamente mediante modelos teóricos o mediante modelos teóricos complementados con ensayos.

### **3.5 Verificaciones**

1 Para cada verificación, se identificará la disposición de las acciones simultáneas que deban tenerse en cuenta, como deformaciones previas o impuestas, o imperfecciones. Asimismo, deberán considerarse las desviaciones probables en las disposiciones o en las direcciones de las acciones.

2 En el marco del método de los estados límite, el cumplimiento de las exigencias estructurales se comprobará utilizando el formato de los coeficientes parciales (véase apartado 4). Alternativamente, las comprobaciones se podrán basar en una aplicación directa de los métodos de análisis de fiabilidad (véase Anejo C).

## **4 Verificaciones basadas en coeficientes parciales**

### **4.1 Generalidades**

1 En la verificación de los estados límite mediante coeficientes parciales, para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural, se utilizan los valores de cálculo de las variables, obtenidos a partir de sus valores característicos, u otros valores representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes parciales para las acciones y la resistencia, respectivamente.

2 Los valores de cálculo no tienen en cuenta la influencia de errores humanos groseros. Estos deben evitarse mediante una dirección de obra, utilización, inspección y mantenimiento adecuados.

### **4.2 Capacidad portante**

#### **4.2.1 Verificaciones**



1 Se considera que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio o de una parte independiente del mismo, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$E_{d, dst} \leq E_{d, stb}$  (4.1) siendo

$E_{d, dst}$  valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras

$E_{d, stb}$  valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras

2 Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$E_d \leq R_d$  (4.2) siendo

$E_d$  valor de cálculo del efecto de las acciones

$R_d$  valor de cálculo de la resistencia correspondiente

#### 4.2.2 Combinación de acciones

1 El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ( $\gamma_G \cdot G_k$ ), incluido el pretensado ( $\gamma_P \cdot P$ );

b) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ( $\gamma_Q \cdot Q_k$ ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;

c) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ( $\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$ ).

Los valores de los coeficientes de seguridad,  $\gamma$ , se establecen en la tabla 4.1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (la desestabilizadora).

Los valores de los coeficientes de simultaneidad,  $\psi$ , se establecen en la tabla 4.2

2 El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación extraordinaria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ( $\gamma_G \cdot G_k$ ), incluido el pretensado ( $\gamma_P \cdot P$ );

b) una acción accidental cualquiera, en valor de cálculo ( $A_d$ ), debiendo analizarse sucesivamente con cada una de ellas.

c) una acción variable, en valor de cálculo frecuente ( $\gamma_Q \cdot \psi_1 \cdot Q_k$ ), debiendo adoptarse como tal, una tras otra sucesivamente en distintos análisis con cada acción accidental considerada.

d) El resto de las acciones variables, en valor de cálculo casi permanente ( $\gamma_Q \cdot \psi_2 \cdot Q_k$ ).

En situación extraordinaria, todos los coeficientes de seguridad ( $\gamma_G$ ,  $\gamma_P$ ,  $\gamma_Q$ ), son iguales a cero si su efecto es favorable, o a la unidad si es desfavorable, en los términos anteriores.

3 En los casos en los que la acción accidental sea la acción sísmica, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

#### 4.2.3 Comportamiento no lineal

1 En los casos en los que la relación entre las acciones y su efecto no pueda aproximarse de forma lineal, para la determinación de los valores de cálculo de los efectos de las acciones debe realizarse un análisis no lineal, siendo suficiente considerar que:

- a) si los efectos globales de las acciones crecen más rápidamente que ellas, los coeficientes parciales se aplican al valor representativo de las acciones, al modo establecido en los apartados anteriores.
- b) si los efectos globales de las acciones crecen más lentamente que ellas, los coeficientes parciales se aplican a los efectos de las acciones, determinados a partir de los valores representativos de las mismas.

#### 4.2.4 Valor de cálculo de la resistencia

1 El valor de cálculo de la resistencia de una estructura, elemento, sección punto o unión entre elementos se obtiene de cálculos basados en sus características geométricas a partir de modelos de comportamiento del efecto analizado, y de la resistencia de cálculo,  $f_d$ , de los materiales implicados, que en general puede expresarse como cociente entre la resistencia característica,  $f_k$ , y el coeficiente de seguridad del material.

2 Por lo que respecta al material o materiales implicados, la resistencia de cálculo puede asimismo expresarse como función del valor medio del factor de conversión de la propiedad implicada, determinada experimentalmente, para tener en cuenta las diferencias entre las condiciones de los ensayos y el comportamiento real, y del coeficiente parcial para dicha propiedad del material.

3 En su formulación más general, la resistencia de cálculo puede expresarse en función de las variables antedichas, y el coeficiente parcial para el modelo de resistencia y las desviaciones geométricas, en el caso de que estas no se tengan en cuenta explícitamente.

**Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones**

Tipo de verificación <sup>(1)</sup>	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

<sup>(1)</sup> Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

**Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )**

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

<sup>(1)</sup> En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

## 4.3 Aptitud al servicio

### 4.3.1 Verificaciones

1 Se considera que hay un comportamiento adecuado, en relación con las deformaciones, las vibraciones o el deterioro, si se cumple, para las situaciones de dimensionado pertinentes, que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto.

### 4.3.2 Combinación de acciones

1 Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se determinarán a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas, de acuerdo con los criterios que se establecen a continuación.

2 Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado característica, a partir de la expresión

$$\sum_{j=1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico (  $G_k$  );
- b) una acción variable cualquiera, en valor característico (  $Q_k$  ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor de combinación (  $\psi_0 \cdot Q_k$  ).

3 Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión

$$\sum_{j=1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

siendo

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico (  $G_k$  );
- b) una acción variable cualquiera, en valor frecuente (  $\psi_1 Q_k$  ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor casi permanente (  $\psi_2 \cdot Q_k$  ).

4 Los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión

$$\sum_{j=1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

siendo:

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico (  $G_k$  );
- b) todas las acciones variables, en valor casi permanente (  $\psi_2 Q_k$  ).

### 4.3.3 Deformaciones

#### 4.3.3.1 Flechas

1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
- b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- c) 1/300 en el resto de los casos.

2 Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que 1/350.

3 Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que  $1/300$ .

4 Las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. En general, será suficiente realizar dicha comprobación en dos direcciones ortogonales.

5 En los casos en los que los elementos dañables (por ejemplo tabiques, pavimentos) reaccionan de manera sensible frente a las deformaciones (flechas o desplazamientos horizontales) de la estructura portante, además de la limitación de las deformaciones se adoptarán medidas constructivas apropiadas para evitar daños. Estas medidas resultan particularmente indicadas si dichos elementos tienen un comportamiento frágil.

#### 4.3.3.2 Desplazamientos horizontales

1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, susceptibles de ser dañados por desplazamientos horizontales, tales como tabiques o fachadas rígidas, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones característica, el desplome (véase figura 4.1) es menor de:

- a) desplome total:  $1/500$  de la altura total del edificio;
- b) desplome local:  $1/250$  de la altura de la planta, en cualquiera de ellas.

2 Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura global tiene suficiente rigidez lateral, si ante cualquier combinación de acciones casi permanente, el desplome relativo (véase figura 4.1) es menor que  $1/250$ .

3 En general es suficiente que dichas condiciones se satisfagan en dos direcciones sensiblemente ortogonales en planta.

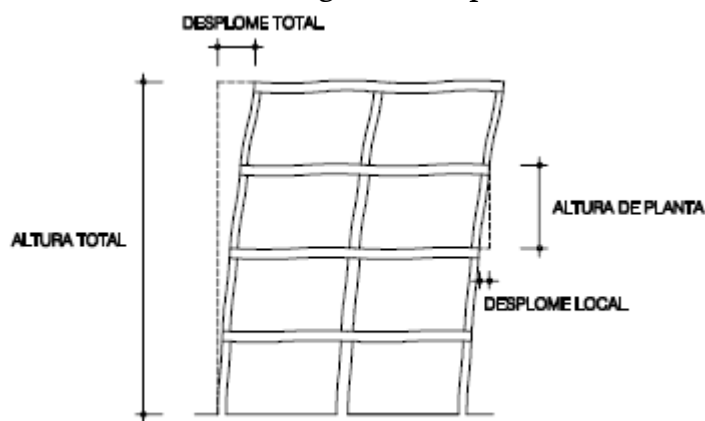


Figura 4.1 Desplomes

#### 4.3.4 Vibraciones

1 Un edificio se comporta adecuadamente ante vibraciones debidas a acciones dinámicas, si la frecuencia de la acción dinámica (frecuencia de excitación) se aparta suficientemente de sus frecuencias propias.

2 En el cálculo de la frecuencia propia se tendrán en cuenta las posibles contribuciones de los cerramientos, separaciones, tabiquerías, revestimientos, solados y otros elementos constructivos, así como la influencia de la variación del

módulo de elasticidad y, en el caso de los elementos de hormigón, la de la fisuración.

3 Si las vibraciones pueden producir el colapso de la estructura portante (por ejemplo debido a fenómenos de resonancia, o a la pérdida de la resistencia por fatiga) se tendrá en cuenta en la verificación de la capacidad portante, tal como se establece en el DB respectivo.

4 Se admite que una planta de piso susceptible de sufrir vibraciones por efecto rítmico de las personas, es suficientemente rígida, si la frecuencia propia es mayor de:

- a) 8 Hz, en gimnasios y polideportivos;
- b) 7Hz en salas de fiesta y locales de pública concurrencia sin asientos fijos;
- c) 3,4 Hz en locales de espectáculos con asientos fijos.

## **4.4 Efectos del tiempo**

### **4.4.1 Durabilidad**

1 Debe asegurarse que la influencia de acciones químicas, físicas o biológicas a las que está sometido el edificio no compromete su capacidad portante. Para ello, se tendrán en cuenta las acciones de este tipo que puedan actuar simultáneamente con las acciones de tipo mecánico, mediante un método implícito o explícito.

2 En el método implícito los riesgos inherentes a las acciones químicas, físicas o biológicas se tienen Ben cuenta mediante medidas preventivas, distintas al análisis estructural, relacionadas con las características de los materiales, los detalles constructivos, los sistemas de protección o los efectos de las acciones en condiciones de servicio. Estas medidas dependen de las características e importancia del edificio, de sus condiciones de exposición y de los materiales de construcción empleados.

En estructuras normales de edificación, la aplicación del este método resulta suficiente. En los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales y en la Instrucción de hormigón estructural EHE se establecen las medidas específicas correspondientes.

3 En el método explícito, las acciones químicas, físicas o biológicas se incluyen de forma explícita en la verificación de los estados límite últimos y de Servicio. Para ello, dichas acciones se representarán mediante modelos adecuados que permitan describir sus efectos en el comportamiento estructural. Estos modelos dependen de las características y de los materiales de la estructura, así como de su exposición.

### **4.4.2 Fatiga**

#### **4.4.2.1 Principios**

1 En general, en edificios no resulta necesario comprobar el estado límite de fatiga, salvo por lo que respecta a los elementos estructurales internos de los equipos de elevación.

2 La comprobación a fatiga de otros elementos sometidos a acciones variables repetidas procedentes de maquinarias, oleaje, cargas de tráfico y vibraciones producidas por el viento, se hará de acuerdo con los valores y modelos que se establecen de cada acción en el documento respectivo que la regula.

#### **4.4.3 Efectos reo lógicos**

1 Los documentos básicos correspondientes a los diferentes materiales incluyen, en su caso, la información necesaria para tener en cuenta la variación en el tiempo de los efectos reo lógicos.

### **5 Verificaciones basadas en métodos experimentales**

#### **5.1 Generalidades**

1 Las verificaciones relativas a la seguridad estructural mediante ensayos están basadas en el establecimiento experimental de parámetros que definan bien la respuesta de una determinada estructura, de un elemento estructural o de una unión, o bien las acciones e influencias que actúen sobre ellos.

2 No se consideraran como parte de este procedimiento experimental los ensayos de recepción de materiales o de su control de calidad, así como los ensayos del terreno para la redacción de informes geotécnicos.

#### **5.2 Planteamiento experimental**

1 Debe definirse de forma inequívoca el estado límite que debe verificarse y determinarse las zonas o los puntos críticos desde el punto de vista del comportamiento de la estructura o del elemento considerado.

2 Las probetas o muestras a ensayar se fabricarán empleando los materiales previstos en obra, aplicando la misma técnica y, en la medida de lo posible, con las mismas dimensiones que los elementos correspondientes. El muestreo se efectuará de manera aleatoria. Además, las probetas deberán reproducir adecuadamente las condiciones de apoyo y de puesta en carga de los elementos.

3 Deben minimizarse, en la medida de lo posible, las diferencias entre las condiciones en las cuales se realicen los ensayos y las condiciones del elemento estructural real. Cuando estas diferencias tengan una incidencia significativa, se tendrán en cuenta en la evaluación e interpretación de los resultados introduciendo unos factores de conversión que se establecerán mediante análisis experimental o teórico, o sobre la base de la experiencia. Estos factores están asociados con incertidumbres que dependen de cada caso

4 En los métodos empleados para deducir los valores de cálculo a partir de los resultados experimentales se tendrá en cuenta el número reducido de ensayos. En ausencia de un análisis más detallado, la evaluación directa de los resultados se realizará según las indicaciones del apartado 5.5. Para la evaluación de los resultados podrán emplearse otros métodos, siempre y cuando resulten consistentes con el formato de verificación establecido. En caso de que existan conocimientos previos (por ejemplo modelos de cálculo, ensayos previos), éstos se podrán tener en cuenta en la evaluación de los resultados.

5 Si los resultados experimentales se usan en un análisis probabilista, los datos obtenidos pueden emplearse para la actualización de los parámetros estadísticos correspondientes.

6 Las conclusiones derivadas de una campaña experimental determinada sólo tienen validez para las condiciones particulares de los ensayos, caracterizadas por el dispositivo experimental elegido, los materiales de construcción y la técnica de fabricación empleados.

7 En la evaluación e interpretación de los resultados se introducirán factores de conversión que tengan en cuenta las diferencias entre las condiciones del ensayo y las condiciones en obra que sean relevantes, como el efecto de escala, la duración de la aplicación de la carga, las condiciones de apoyo de las probetas o los efectos ambientales que puedan incidir en las propiedades de los materiales.

### 5.3 Evaluación de los resultados

#### 5.3.1 Generalidades

1 La determinación del valor de cálculo de la resistencia de un elemento estructural o de un material mediante ensayos se basa en que la resistencia de la probeta empleada se representa a través de una única variable y en que el tipo de rotura contemplado es determinante en todos los ensayos.

2 El valor de cálculo de la resistencia,  $R_d$ , se determinará según la siguiente expresión:

$$R_d = \frac{R_{k,est}}{\gamma_M} \cdot \frac{m_\eta}{\gamma_{Rd}}$$

siendo

$R_{k,est}$  estimación del valor característico de la resistencia,  $R_k$ , determinada a partir de los resultados experimentales según la expresión (5.2) ó (5.3);

$\gamma_M$  coeficiente parcial para la resistencia del material, se adoptará el valor que, según los documentos básicos correspondientes, se emplee para el material y el mecanismo de rotura considerados;

$m_\eta$  valor medio del factor de conversión;

$\gamma_{Rd}$  coeficiente de incertidumbre para el modelo de resistencia.

3 En aquellos casos en los que se estime que la diferencia entre los ensayos y los casos reales es demasiado grande, será necesario un estudio más detallado para el establecimiento del valor del coeficiente  $\gamma_M$ .

4 El coeficiente de incertidumbre para el modelo de resistencia,  $\gamma_{Rd}$ , tiene en cuenta el carácter aleatorio del factor de conversión,  $\eta$ , con respecto a las diferencias desconocidas entre las condiciones del ensayo y las condiciones en obra. Los valores de  $m_\eta$  y  $\gamma_{Rd}$  se definirán en cada caso, teniendo en cuenta los objetivos de los ensayos, el estado límite considerado, el mecanismo de rotura, la información disponible sobre la fabricación de las probetas y los elementos reales, así como las condiciones de la obra. Los valores adoptados para el coeficiente de incertidumbre  $\gamma_{Rd}$  no serán inferiores a la unidad.

#### 5.3.2 Estimación de la resistencia característica

1 En ausencia de información previa o de otros datos más precisos, se adoptará como valor característico el fractil del 5%, suponiendo una distribución normal:

$$R_{k,est} = m_R - k \cdot \sigma_R \quad (5.2)$$

siendo

$m_R$  valor medio de la muestra



$\sigma_R$  desviación típica de la muestra, se estimará a partir de los resultados experimentales

$k_\sigma$  coeficiente que depende del tamaño de la muestra (número de ensayos,  $n$ ), según tabla 5.1

2 Cuando exista información previa relativa a la desviación típica de la distribución,  $\sigma_R$ , ésta se considerará conocida a priori. En estos casos, suponiendo una distribución normal, el valor característico de la resistencia correspondiente a un fractil del 5% se estimará a partir de la relación:

$$R_{k, est} = m_R - k_\sigma \cdot \sigma_R \quad (5.3)$$

siendo

$m_R$  valor medio de la muestra

$\sigma_R$  desviación típica de la distribución

$k_\sigma$  coeficiente que depende del tamaño de la muestra (número de ensayos,  $n$ ), según tabla

Tabla 5.1. Valores del coeficiente  $k_\sigma$  para un fractil de 5%

Desviación típica	Número de ensayos, $n$								
	3	4	6	8	10	20	30	100	infinito
desconocida	3,15	2,68	2,34	2,19	2,10	1,93	1,87	1,76	1,64
previamente conocida	2,03	1,98	1,92	1,88	1,86	1,79	1,77	1,71	1,64