

Documento Básico **SE**

Seguridad estructural

SE 1 Resistencia y estabilidad

SE 2 Aptitud al servicio

Noviembre 2003

Generalidades

I Objeto

Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico “Seguridad estructural”.

Tanto el objetivo del requisito básico “Seguridad estructural”, como las exigencias básicas se establecen en el artículo 10 de la Parte I de este CTE y son los siguientes:

Artículo 1. Artículo 10. Exigencias básicas de seguridad estructural (SE)

1. El objetivo del requisito básico “Seguridad estructural” consiste en asegurar que el *edificio* tiene un *comportamiento estructural adecuado* frente a las *acciones previsibles* y a las *influencias previsibles* a las que pueda estar sometido durante su *construcción y uso previsto*.
2. Para satisfacer este objetivo, la *estructura* en su conjunto, las partes que la componen y los *elementos resistentes no estructurales* se proyectarán, fabricarán, construirán y mantendrán de forma que, con una *fiabilidad adecuada*, se cumplan las exigencias básicas que se establecen a continuación.
3. Los Documentos Básicos “DB SE Seguridad Estructural”, “DB SE-AE Acciones en la edificación”, “DB SE-C Cimentaciones”, “DB SE- A Estructuras de Acero”, “DB SE- F Estructuras de Fábrica” y “DB SE- M Estructuras de Madera”, especifican los parámetros objetivos y los procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad estructural.

10.1. Exigencia básica SE 1: Resistencia y estabilidad

La resistencia y la estabilidad serán las adecuadas para que no se generen *riesgos indebidos*, de forma que se mantenga la resistencia y la estabilidad frente a las *acciones e influencias previsibles* durante las fases de construcción y usos previstos de los edificios, y que un *evento extraordinario* no produzca *consecuencias desproporcionadas* respecto a la causa original y se facilite el *mantenimiento previsto*.

10.2. Exigencia básica SE 2: Aptitud al servicio

La aptitud al servicio será conforme con *uso previsto* del *edificio*, de forma que no se produzcan deformaciones inadmisibles, se limite a un nivel aceptable la probabilidad de un comportamiento dinámico inadmisibles y no se produzcan degradaciones o anomalías inadmisibles.

II Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de este DB es el que se establece con carácter general para el conjunto del CTE en su artículo 2 (Parte I).

III Criterios Generales de aplicación

Pueden utilizarse otras soluciones diferentes a las contenidas en este DB, en cuyo caso deberá seguirse el procedimiento establecido en el artículo 5 del CTE. En este caso se deberá documentar en el proyecto el cumplimiento de las exigencias básicas, conforme a lo establecido en el artículo 10.2 de la parte I.

Las citas a disposiciones reglamentarias contenidas ente DB se refieren a sus versiones vigentes en cada momento en que se aplique el Código. Las citas a normas UNE, UNE EN o UNE EN ISO se deben relacionar con la versión que se indica en cada caso, aún cuando exista una versión posterior, excepto cuando se trate de normas equivalentes a normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Comunidad Europea, en el marco de aplicación de la Directiva 89/106/CEE sobre productos de construcción, en cuyo caso la cita se deberá relacionar con la versión de dicha referencia.

IV Terminología

Los términos figuran en letra cursiva y, a efectos de aplicación de este CTE, deben utilizarse conforme al significado y a las condiciones que se establece para cada uno de ellos. Las definiciones figuran en letra capital, no son exclusivas de este CTE y se incluyen en el mismo con el fin de aportar una mayor comodidad en su lectura y aplicación.

Otros términos y definiciones generales utilizados en el conjunto del CTE pueden consultarse en el Anejo III de la Parte I.

Índice

1 Generalidades

- 1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas
- 1.2 Prescripciones aplicables conjuntamente con DB-SE

2 Documentación

- 2.1 Documentación de proyecto
- 2.3 Plan de control de calidad
- 2.4 Documentación final de obra
- 2.5 Instrucciones de uso y mantenimiento

3 Principios del análisis estructural y del dimensionado

- 3.1 Generalidades
- 3.2 Situaciones de dimensionado
- 3.3 Estados Límite
- 3.4 Variables básicas
- 3.5 Modelos para el análisis estructural
- 3.6 Verificaciones

4 Verificaciones basadas en el formato de los coeficientes parciales

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Capacidad portante
- 4.3 Aptitud al servicio
- 4.4 Efectos del tiempo

5 Verificaciones basadas en metodos experimentales

- 5.1 Campo de aplicación
- 5.2 Principios
- 5.3 Planificación
- 5.4 Diferencias entre las condiciones de los ensayos y de la estructura real
- 5.5 Evaluación de los resultados

Anejo A Terminología

Anejo B Notaciones y unidades

Anejo C Principios de los métodos probabilistas explícito e implícito

Anejo D Evaluación estructural de edificios existentes

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas

- 1 Este documento establece los principios y los requisitos relativos a la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio, así como la aptitud al servicio, incluyendo su durabilidad. El documento describe 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 todas las estructuras portantes de edificación, incluidas las fases de construcción. También son aplicables para estructuras portantes de carácter transitorio.
- 3 El DB-SE también es aplicable para la evaluación estructural de edificios existentes, así como para el dimensionado de reparaciones y refuerzos.
- 4 Se denomina capacidad portante a la aptitud de una estructura y de sus elementos de asegurar, con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria. 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.
- 5 A falta de indicaciones específicas, como periodo de servicio se adoptará 50 años

1.2 Prescripciones aplicables conjuntamente con DB-SE

- 1 El documento DB-SE constituye la base para los documentos siguientes y se utilizará conjuntamente con ellos:
 - DB-SE-AE Acciones en la edificación
 - DB-SE-C Cimentaciones
 - DB-SE-A Estructuras de acero
 - DB-SE-F Estructuras de fábrica
 - DB-SE-M Estructuras de madera
 - DB-SI Seguridad en caso de incendio
- 2 Asimismo, para el proyecto de estructuras de edificación deberán tenerse en cuenta las especificaciones de los documentos siguientes:
 - NCSE Norma de construcción sismorresistente: 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
- 3 Cuando se adopte una solución que no cumpla con alguna de las especificaciones contenidas en los DB enumerados anteriormente, para verificar las condiciones de capacidad portante, aptitud al uso y durabilidad de la estructura se seguirán los preceptos indicados en este DB-SE.

2 Documentación

2.1 Documentación de proyecto

- 1 En relación con la seguridad estructural, los diversos documentos de que consta el proyecto, descritos en el Anejo I del CTE, deberán contener como mínimo, la documentación que se indica en los siguientes apartados.
- 2 Cuando la dirección de obra, durante la ejecución de la misma, autorice modificaciones de proyecto, previamente a la realización de las mismas, deberán rectificarse convenientemente los cálculos, planos y cualquier documento de proyecto que resulte afectado por dichas modificaciones. Además, para evitar confusiones, se indicará claramente en los citados documentos modificados que son los documentos finales y que anulan a los anteriores, que se relacionarán pormenorizadamente.

2.1.1 Memoria

- 1 La memoria contendrá 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; las bases de cálculo y la declaración de cumplimiento de los DB o justificación documental del cumplimiento de las exigencias básicas de seguridad si se adoptan soluciones alternativas que se aparten total o parcialmente de los DB.
- 2 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 transformarla 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 que forman la estructura y para el terreno que lo sustenta, o en su caso actúa sobre ella;
 - d) Las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio, incluida la durabilidad, y las situaciones de dimensionado consideradas;
 - e) Las acciones consideradas, las combinaciones efectuadas y los coeficientes de seguridad utilizados para las diferentes situaciones de dimensionado;
 - f) De cada elemento reflejado en planos, el tipo de análisis efectuado y los métodos de cálculo empleados;
 - g) 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 por el autor de los cálculos y los resultados generados por el programa.

2.1.2 Planos

- 1 Los planos deben ser lo suficientemente descriptivos y precisos para la realización de la obra, de modo que contengan la información suficiente para desarrollar a partir de ellos, los planos auxiliares de ejecución, y en su caso, de taller, así como el programa de ejecución y montaje de la estructura.
- 2 Contendrán todos los detalles necesarios, y en particular, los detalles de uniones y nudos, las características de los materiales, la modalidad de control de calidad previsto, si procede, y los coeficientes de seguridad adoptados en el cálculo.
- 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 prescripciones técnicas particulares

- 1 El pliego de prescripciones técnicas particulares incluirá los apartados precisos para establecer las condiciones exigibles a los materiales y a la ejecución de cada unidad de obra.
- 2 Incluirá la modalidad de control de calidad elegida para cada material y para la ejecución de cada unidad de obra, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo, y las acciones a adoptar en cada caso. Asimismo, se establecerá el plazo de garantía de cada componente.
- 3 Especificará las pruebas previstas para realizar las correspondientes recepciones de obra y se establecerán sus plazos de garantía.
- 4 En este 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 Plan de control de calidad

- 1 El control de la calidad requiere llevar a cabo las siguientes acciones:
 - a) la identificación de las exigencias relacionadas con la capacidad portante, la aptitud al funcionamiento, el confort, la durabilidad, la estética, el coste;
 - b) la transformación de estos aspectos en un conjunto de requisitos de calidad (definición de los criterios de aceptación, por ejemplo, en términos de tolerancia para todos estos aspectos);
 - c) la identificación de las actividades que contribuyan a alcanzar la calidad requerida (por ejemplo los estudios preliminares, la identificación de situaciones de riesgo, la definición de la estructura y de los detalles, las características de las acciones y de los materiales, las condiciones de uso, los procesos de ejecución);
 - d) la definición de un plan de control de calidad teniendo en cuenta las principales actividades en vista del cumplimiento de los requisitos de calidad;
 - e) la puesta en práctica del plan de control de calidad establecido.
- 2 El contenido y el alcance del plan de control de calidad dependen de las características y de la importancia de la estructura, así como de los métodos de análisis empleados en el proyecto y de los procedimientos de ejecución. Contendrá, como mínimo, la siguiente información:
 - a) la definición de los controles a efectuar;
 - b) el alcance de los diferentes controles, los métodos y los plazos para su realización;
 - c) las personas responsables de cada control;
 - d) los criterios de aceptación (de acuerdo con las calidades y exigencias asumidas, así como con las tolerancias admitidas);
 - e) las medidas que deben adoptarse en caso de que no se cumplan los criterios de aceptación;
- 3 Los resultados de los distintos controles se deberán reflejar documentalmente en informes, que estarán a disposición de la propiedad.
- 4 Cuando se dé un resultado negativo en alguno de los controles, se adoptarán las medidas necesarias que permitan alcanzar la calidad exigida. La puesta en práctica de estas medidas estará sometida, a su vez, a un adecuado procedimiento de control de calidad.

2.3 Documentación final de 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 las modificaciones de proyecto realizadas son conformes 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.

2.4 Instrucciones de uso y mantenimiento

2.4.1 Instrucciones de uso

- 1 En las instrucciones de uso, el apartado destinado a la estructura recogerá toda la información necesaria para asegurar que el uso del edificio es conforme a las hipótesis adoptadas en las bases de cálculo.
- 2 De toda la información acumulada sobre una obra, y en particular sobre su estructura, las instrucciones de uso incluirán aquella que resulte de interés para la propiedad y para los usuarios, que como mínimo será:
 - a) las cargas permanentes;
 - b) las sobrecargas de uso;
 - c) las deformaciones admitidas, incluidas las del terreno, en su caso;
 - d) las condiciones particulares de utilización, como puede ser 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) Las medidas adoptadas para reducir los riesgos.

2.4.2 Plan de mantenimiento

- 1 El plan de mantenimiento, en lo correspondiente a la estructura, 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 inspecciones;

3 Principios del análisis estructural y del dimensionado

3.1 Generalidades

- 1 La comprobación estructural de un edificio requiere:
 - a) determinar las situaciones de dimensionado que resulten determinantes;
 - b) establecer modelos adecuados para la estructura y las acciones que deben tenerse en cuenta;
 - 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 los casos en los que los efectos del paso del tiempo pueden incidir en la capacidad portante o en la aptitud al servicio de una estructura, éstos se tendrán en cuenta en las distintas verificaciones. Las verificaciones de los estados límite relacionado con los efectos del tiempo deberán estar en concordancia con el periodo de servicio de la obra.

3.2 Situaciones de dimensionado

- 1 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. A estos efectos, también se tendrán en cuenta las características de la obra, así como las otras medidas de protección o de seguridad adoptadas.
- 2 Las situaciones de dimensionado se clasificarán en :
 - a) situaciones persistentes, que se refieren a las condiciones normales de uso;
 - b) situaciones transitorias, que se refieren a unas condiciones aplicables durante un tiempo limitado;
 - c) situaciones extraordinarias, que se refieren a unas condiciones excepcionales en las que se puede encontrar, o a las que puede estar expuesto el edificio.Según el caso, las fases de construcción pueden corresponder a situaciones transitorias o persistentes.
- 3 Para las diferentes situaciones de dimensionado, se establecerán las combinaciones de acciones correspondientes.

3.3 Estados Límite

- 1 Se denominan Estados Límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada. Los Estados Límite se clasifican en:
 - a) Estados Límite Últimos
 - b) Estados Límite de Servicio

3.3.1 Estados Límite Últimos

- 1 Los Estados Límite Últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas o el medio ambiente, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio de la estructura o el colapso total o parcial de la misma.
- 2 Como Estados Límite Últimos deben considerarse los debidos a:
 - a) pérdida del equilibrio de la estructura, o de parte de ella, considerada 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 las cimentaciones) o de sus uniones, inestabilidad de elementos estructurales;
 - c) fallos originados por efectos dependientes del tiempo (corrosión, fatiga).

3.3.2 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 reversibles e irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias de las acciones que excedan los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas dichas acciones.
- 3 Los criterios de verificación relativos a los Estados Límite de Servicio pueden referirse a los siguientes aspectos:
 - a) las deformaciones que afecten a la apariencia de la obra (elementos estructurales y no estructurales), 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 estructura, de los equipos o de las instalaciones;
 - c) los daños o el deterioro que pueden afectar negativamente a la apariencia, a la durabilidad o a la funcionalidad de la obra;
 - d) los efectos específicos que afecten a la durabilidad de la estructura o al aspecto de la obra.

3.3.3 Efectos del tiempo

- 1 Las acciones químicas, físicas y biológicas a las que esté sometida una estructura y que pueden afectar sus prestaciones a largo plazo, se tendrán en cuenta en el análisis de los Estados Límite Último y de Servicio.
- 2 En estructuras que estén sometidas a cargas variables repetidas se verificará su seguridad frente a la fatiga, en la verificación de la capacidad portante.

3.4 Variables básicas

3.4.1 Generalidades

- 1 El análisis de los Estados Límite 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.

3.4.2 Acciones

3.4.2.1 Clasificación de las acciones

- 1 Las acciones consideradas en el cálculo de una estructura o elemento estructural pueden clasificarse por su variación en el tiempo de la forma siguiente:
 - a) acciones permanentes (G): Son aquellas que actúan en todo momento sobre la estructura con posición constante. Su magnitud puede ser constante o no. En este grupo se incluyen los pesos propios de los elementos constructivos e instalaciones, las acciones del terreno, etc.
 - b) acciones variables (Q): Son aquellas que pueden actuar o no sobre la estructura, como las sobrecargas de uso, las acciones climáticas, etc.
 - c) acciones accidentales (A): Son aquellas cuya posibilidad de actuación es pequeña pero de gran importancia, como explosiones, impactos, sismo, fuego, etc.Las deformaciones impuestas (asientos, retracción, etc.) se considerarán, según el caso, como acciones permanentes o variables.
- 2 Las acciones también se pueden clasificar por:
 - a) su origen, como directas o indirectas;
 - b) su variación espacial, como fijas o libres;
 - c) su naturaleza o la respuesta estructural, como estáticas o dinámicas.

- 3 Una acción se representa a través de un modelo. La magnitud de la acción está representada, en la mayoría de los casos, por un escalár que puede tomar distintos valores representativos, dependiendo de la situación considerada. En este documento se distingue entre los siguientes valores representativos para las acciones:
- valor característico;
 - valor de combinación;
 - valor frecuente;
 - valor casi-permanente.

3.4.2.2 Valores representativos de las acciones

3.4.2.2.1 Valores característicos

- El valor característico de una acción, F_k , se define, según el caso, por su valor medio, por un fráctil superior o inferior, o por un valor nominal.
- El valor característico de las acciones permanentes, G_k , se representa, normalmente, por 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 si la respuesta estructural es muy sensible a la variación de una acción permanente, deben considerarse dos valores característicos para dicha acción: un valor característico superior, $G_{k,sup}$, y un valor característico inferior, $G_{k,inf}$. Asumiendo una distribución estadística normal, el valor de $G_{k,inf}$ se determinará por el fráctil del 5%, y el valor de $G_{k,sup}$ por el fráctil del 95%.
- Para la acción permanente debida al pretensado, P , se podrá definir, en cada instante t , un valor característico superior, $P_{k,sup}(t)$, y un valor característico inferior, $P_{k,inf}(t)$. En algunos casos, el pretensado también se podrá representar por su valor medio, $P_m(t)$.
- El valor característico de las acciones variables, Q_k , se representa, por alguno de los siguientes valores:
 - un valor superior con una determinada probabilidad de no ser superado en un periodo de referencia específico;
 - un valor inferior con una determinada probabilidad de ser alcanzado en un periodo de referencia específico;
 - un valor nominal, especificado en los casos en los que se desconozca la correspondiente distribución estadística.
- 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.
- Las acciones accidentales se representan por un valor nominal. Este valor nominal se asimila, normalmente, al valor de cálculo.

3.4.2.2.2 Valor de combinación

- 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. Se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente ψ_0 .

3.4.2.2.3 Valor frecuente

- El valor frecuente de una acción variable se determina de manera que sea superado durante el 1% del tiempo de referencia. Se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente ψ_1 .

3.4.2.2.4 Valor casi-permanente

- El valor casi-permanente de una acción variable se determina de manera que sea superado durante el 50% del tiempo de referencia. Se representa como el valor característico multiplicado por un coeficiente ψ_2 .

3.4.2.3 Representación de las acciones dinámicas

- Las acciones dinámicas inducidas, como el viento, un choque o un sismo, se representan a través de las correspondientes 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 adecuado.

3.4.3 Datos Geométricos

- 1 Los datos geométricos se representan por sus valores característicos. Como valores característicos de los datos geométricos se adoptarán los valores nominales definidos en los planos. En el caso de que su distribución estadística sea conocida con suficiente precisión, los datos geométricos podrán representarse por un determinado fractil de dicha distribución.

3.4.4 Materiales

- 1 Las propiedades 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 esta propiedad, definidos por
 - a) el fractil del 95% en caso de que un valor superior resulte desfavorable;
 - b) el fractil del 5% en caso de que un valor inferior resulte desfavorable.
- 3 Los valores de las propiedades de los materiales o de los productos podrán determinarse experimentalmente a través de ensayos normalizados. 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, la dependencia de estas propiedades de la duración de la aplicación de las cargas se tendrá debidamente en cuenta.
- 5 A falta de indicaciones en sentido contrario, las características relativas a la dilatación térmica se representan por su valor medio.

3.5 Modelos para el análisis estructural

- 1 El análisis estructural se basará en modelos adecuados del edificio que proporcionen una previsión suficientemente precisa del comportamiento de la misma, 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 Los modelos empleados deben servir, también para determinar el comportamiento de zonas singulares de una estructura donde las hipótesis clásicas de la teoría de la resistencia de materiales podrían no ser aplicables.
- 4 Las condiciones de borde aplicadas a los modelos deberán estar en concordancia con las previstas en obra.
- 5 Los efectos de los desplazamientos y de las deformaciones se tendrán en cuenta 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 estructurales significativos con sus propiedades (masa, rigidez, amortiguamiento, resistencia, etc). El modelo también tendrá en cuenta las propiedades relevantes de los elementos sin función estructural.
- 7 En el caso de una influencia significativa de la interacción terreno – estructura, se tendrá en cuenta la contribución del terreno.
- 8 El análisis estructural se puede llevar a cabo mediante modelos teóricos exclusivamente o mediante modelos teóricos complementados con ensayos.

3.6 Verificaciones

- 1 Para cada verificación, se identificará la disposición de las cargas simultáneas y compatibles con otras influencias que deban tenerse en cuenta, como deformaciones previas o impuestas o imperfecciones.
- 2 Asimismo, deberán considerarse las posibles desviaciones en las disposiciones o en las direcciones de las acciones.
- 3 En el marco del método de los Estados Límite, el cumplimiento de las exigencias relativas a la estructura se comprobará normalmente 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 el formato de los coeficientes parciales

4.1 Generalidades

- 1 En la verificación de los estados límite mediante el formato de los 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 La influencia de posibles errores humanos groseros no se tiene en cuenta a través de los valores de cálculo de las variables. Estos deben evitarse mediante un adecuado control de la calidad y una adecuada utilización, inspección y mantenimiento.

4.2 Capacidad portante

4.2.1 Verificaciones

4.2.1.1 Verificación de la estabilidad del conjunto

- 1 La estabilidad del conjunto de una estructura queda verificada si, para todas las situaciones de dimensionado, se cumple la condición

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

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

4.2.1.2 Verificación de la resistencia

- 1 La resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural o de una unión entre elementos queda verificada si, para las diferentes situaciones de dimensionado, se cumple la condición

$$E_d \leq R_d \quad (4.2)$$

siendo

E_d valor de cálculo del efecto de las acciones

R_d valor de cálculo de la resistencia correspondiente

4.2.1.3 Verificación del terreno

- 1 La verificación de la seguridad frente a una rotura del terreno se realizará de acuerdo con lo establecido en DB-SE-C.

4.2.2 Valores de cálculo de los efectos de las acciones

- 1 Para cada situación de dimensionado, los valores de cálculo de 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 Cada combinación está caracterizada por una acción dominante (variable en el caso de situaciones persistentes y transitorias, y accidental en el caso de situaciones extraordinarias), una o varias acciones variables concomitantes, las acciones permanentes y, donde sean relevantes, otras influencias.

4.2.2.1 Situaciones persistentes y transitorias

- 1 El valor de cálculo de los efectos de las acciones y de las influencias que representan una situación persistente o transitoria, se determinará a partir de la expresión

$$E_d = E \left(\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} "+" \gamma_P \cdot P "+" \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4.3)$$

siendo

$G_{k,j}$	valor característico de una acción permanente
P	valor representativo de la acción del pretensado
$Q_{k,1}$	valor característico de la acción variable dominante (en concordancia con la situación de dimensionado contemplada)
$Q_{k,i}$	valor característico de la acción variable concomitante i (en concordancia con la situación de dimensionado contemplada)
$\gamma_{G,j}$	coeficiente parcial para la acción permanente j
γ_P	coeficiente parcial para la acción del pretensado (véase tabla 4.1)
$\gamma_{Q,1}$	coeficiente parcial para la acción variable dominante (véase tabla 4.1)
$\gamma_{Q,i}$	coeficiente parcial para la acción (variable) concomitante i (véase tabla 4.1)
$\psi_{0,i}$	coeficiente para el valor de combinación de la acción variable i (véase tabla 4.2)
"+"	implica "a ser combinado con"
Σ	implica "el efecto combinado de"

4.2.2.2 Situaciones extraordinarias

- 1 El valor de cálculo de los efectos de las acciones que representen una situación extraordinaria, se determinará a partir de la expresión

$$E_d = E \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" A_d "+" \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4.4)$$

siendo

A_d	valor de cálculo de la acción accidental
$\psi_{1,1}$	coeficiente para el valor frecuente de una acción variable (véase tabla 4.2)
$\psi_{2,i}$	coeficiente para el valor casi-permanente de la acción variable i (véase tabla 4.2)

- 2 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

$$E_d = E \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" A_d "+" \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4.5)$$

- 3 Las situaciones extraordinarias pueden referirse tanto al instante en el que actúa la acción accidental considerada (por ejemplo incendio, impacto), así como a una situación posterior a esta actuación ($A_d = 0$).

4.2.2.3 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 los valores de cálculo de los efectos de las acciones las relaciones (4.3), (4.4) y (4.5) no son válidas, debiéndose realizar un análisis no lineal, que podrá realizarse, a falta de un procedimiento más detallado, de acuerdo con las siguientes reglas simplificadas:
 - a) Si los efectos de las acciones crecen más rápidamente que las acciones que están en su origen, los coeficientes parciales se aplican al valor representativo de las acciones.
 - b) Si los efectos de las acciones crecen más lentamente que las acciones que estén en su origen, los coeficientes parciales se aplican a los efectos de las acciones, determinados a partir de los valores representativos de las mismas.

4.2.3 Valor de cálculo de la resistencia

- 1 El valor de cálculo de la resistencia de una estructura, de un elemento estructural o de una unión entre elementos se expresa en los siguientes términos

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R(X_{d,i}; a_d) = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R\left(\eta_i \cdot \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right) \quad (4.6)$$

Con $i \geq 1$

siendo

$X_{d,i}$ valor de cálculo de la propiedad del material o del producto i

$X_{k,i}$ valor característico de la propiedad del material o del producto i

a_d valor de cálculo de una dimensión geométrica

$\gamma_{m,i}$ coeficiente parcial para la propiedad del material o del producto i

γ_{Rd} coeficiente parcial para el modelo de resistencia y las desviaciones geométricas (en caso de que no se tengan explícitamente en cuenta)

η_i valor medio del factor de conversión de la propiedad del material o del producto i

- 2 La relación (4.6) puede simplificarse de la siguiente manera

$$R_d = R\left(\eta_i \cdot \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d\right) \quad (4.7)$$

Con $i \geq 1$

siendo

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \cdot \gamma_{m,i} \quad (4.8)$$

Una simplificación adicional consiste en tener implícitamente en cuenta, a través de $\gamma_{M,i}$, el factor de conversión η_i .

- 3 Alternativamente, el valor de cálculo de la resistencia se puede deducir directamente del valor característico correspondiente, sin la necesidad de determinar explícitamente los valores de cálculo de las variables básicas

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.9)$$

siendo

γ_M coeficiente parcial para la resistencia

La expresión (4.9) se emplea habitualmente en el caso de elementos o productos constituidos de un solo material, o en el contexto de resistencias determinadas experimentalmente (véase apartado 5).

Tabla 4.1 Coeficientes parciales para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Acción	Situación persistente o transitoria	
		efecto desfavorable	efecto favorable
Resistencia de una estructura, de un elemento estructural o de una unión	Permanente (peso propio, cargas permanentes)	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 0,8$
	Acciones del terreno <ul style="list-style-type: none"> Peso del terreno Empuje del terreno Presión del agua 	$\gamma_G = 1,35$ $\gamma_{G,Q} = 1,35$ $\gamma_{G,Q} = 1,2$	$\gamma_G = 0,8$ $\gamma_{G,Q} = 0,7$ $\gamma_{G,Q} = 0,9$
	Pretensado <ul style="list-style-type: none"> Efecto global Efecto local 	$\gamma_P = 1,2$ $\gamma_P = 1,5$	$\gamma_P = 0,9$ --
	Variable	$\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_Q = 0$
Estabilidad del conjunto	Permanente (peso propio, cargas permanentes)	$\gamma_G = 1,1$	$\gamma_G = 0,9$
	Acciones del terreno <ul style="list-style-type: none"> Peso del terreno Empuje del terreno Presión del agua 	$\gamma_G = 1,1$ $\gamma_{G,Q} = 1,35$ $\gamma_{G,Q} = 1,05$	$\gamma_G = 0,9$ $\gamma_{G,Q} = 0,8$ $\gamma_{G,Q} = 0,95$
	Pretensado, efecto global	$\gamma_P = 1,1$	$\gamma_P = 0,95$
	Variable	$\gamma_Q = 1,5$	$\gamma_Q = 0$

⁽¹⁾ Los coeficientes parciales para las acciones correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se tomarán del DB-SE-C

Tabla 4.2 Coeficientes ψ para estructuras de edificación

Acción concomitante	Coeficientes ψ		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Acciones variables de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas de reunión (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas comerciales (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de uso industrial o almacenamiento (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento (Categoría E)	1,0	0,9	0,8
• Zonas de tráfico y de aparcamiento (Categoría F)			
Vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN	0,7	0,7	0,6
Vehículos medios con un peso total de entre 30 y 160 kN	0,7	0,5	0,3
• Cubiertas transitables (Categoría G)	Según uso		
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes \leq 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,7	0,7	0
Temperatura	0,7	0,7	0
Acciones variables del terreno	0		0,7

4.2.4.1.5 Geometría

- 1 El valor de cálculo de una dimensión geométrica se representa, normalmente, por su valor nominal

$$a_d = a_{nom} \quad (4.13)$$

siendo

a_d valor de cálculo de una dimensión geométrica

a_{nom} valor nominal de la misma dimensión, según los planos de ejecución

- 2 En los casos en los que las posibles desviaciones de una dimensión geométrica de su valor nominal puedan tener una influencia significativa en la fiabilidad estructural, el valor de cálculo de esta dimensión se definirá por

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (4.14)$$

siendo

Δa desviación de una dimensión geométrica de su valor nominal, o el efecto acumulado de diferentes desviaciones geométricas que se puedan producir simultáneamente

- 3 Los efectos de otras desviaciones en las dimensiones geométricas están cubiertos, normalmente, por los coeficientes parciales para las acciones y la resistencia.

4.2.4.1.6 Materiales

- 1 Por lo general, el valor de cálculo de una propiedad de un material o de un producto se puede expresar en los siguientes términos

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (4.15)$$

siendo

- X_k valor característico de la propiedad del material o del producto
- η valor medio del factor de conversión de la propiedad del material o del producto
- γ_m coeficiente parcial para la propiedad del material o del producto
- 2 El factor de conversión, η , tiene en cuenta, para una propiedad determinada experimentalmente, las diferencias entre las condiciones de los ensayos y de la estructura real (véase apartado 5).
 - 3 El coeficiente parcial, γ_m , tiene en cuenta, para una propiedad del material o del producto determinada experimentalmente, tanto la variación estadística como la parte aleatoria del factor de conversión, η .
 - 4 Alternativamente, el factor de conversión, η , puede tenerse en cuenta, bien implícitamente a través del valor característico, o bien utilizando el coeficiente parcial γ_M (en lugar de γ_m), de acuerdo con el apartado 4.2.3.

4.3 Aptitud al servicio

4.3.1 Verificaciones

- 1 Un comportamiento adecuado, en relación con las deformaciones, las vibraciones o el deterioro, de la estructura o de un elemento estructural queda verificado si se cumple, para las diferentes situaciones de dimensionado, la condición:

$$E_{\text{ser}} \leq C_{\text{lim}} \quad (4.16)$$

siendo

E_{ser} efecto de las acciones para una determinada situación de dimensionado

C_{lim} valor límite para el mismo efecto

4.3.2 Efectos de las 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 deformaciones impuestas o impedidas (por ejemplo los efectos de la temperatura, de los desplazamientos de los apoyos, del pretensado, o de la retracción y de la fluencia del hormigón o de la influencia de la madera) se tendrán en cuenta de manera adecuada.

4.3.2.1 Combinación característica

- 1 Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, representados por la combinación característica, se determinarán según la relación

$$E_{\text{ser}} = E \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4.17)$$

siendo

$G_{k,j}$ valor característico de una acción permanente

P valor representativo de la acción del pretensado

$Q_{k,1}$ valor característico de la acción variable dominante (en concordancia con la situación de dimensionado contemplada)

$Q_{k,i}$ valor característico de la acción variable concomitante i (en concordancia con la situación de dimensionado contemplada)

$\psi_{0,i}$ coeficiente para el valor de combinación de la acción variable i (véase tabla 4.2)

$+$ implica "a ser combinado con"

Σ implica "el efecto combinado de"

4.3.2.2 Combinación frecuente

- 1 Los efectos debidos a las acciones de corta duración que resultan reversibles, representados por la combinación frecuente de acciones, se determinarán según la relación

$$E_{ser} = E \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot P \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4.18)$$

siendo

- $\psi_{1,1}$ coeficiente para el valor frecuente de la acción variable dominante (en concordancia con la situación de dimensionado contemplada) (véase tabla 4.2)
- $\psi_{2,i}$ coeficiente para el valor casi-permanente de la acción variable i (en concordancia con la situación de dimensionado contemplada) (véase tabla 4.2)

4.3.2.3 Combinación casi-permanente

- 1 Los efectos debidos a las acciones de larga duración, representados por la combinación casi-permanente, se determinarán según la relación

$$E_{ser} = E \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad (4.19)$$

4.3.3 Criterios de verificación

4.3.3.1 Deformaciones

4.3.3.1.1 Efectos de las acciones

- 1 En función del objetivo de la verificación, las deformaciones se determinarán para la combinación de acciones e influencias correspondiente según las expresiones (4.17) a (4.19) de acuerdo con los criterios siguientes:
 - a) cuando se considere el confort de los usuarios o el correcto funcionamiento de equipos, las deformaciones se determinarán para las acciones variables de corta duración que resulten determinantes;
 - b) cuando se considere el funcionamiento de los elementos constructivos (portantes o no portantes) o de las instalaciones, las deformaciones se determinarán para todas aquellas acciones permanentes y variables que se apliquen después de la puesta en obra del elemento considerado;
 - c) cuando se considere la apariencia de un edificio cuya estructura sea sensible a los efectos reológicos, las deformaciones se determinarán para las acciones de larga duración.
- 2 En los casos en los que el correcto funcionamiento de los equipos o de las instalaciones o la integridad de los elementos incorporados (tabiques, pavimentos) dependa del comportamiento de un conjunto de elementos estructurales, se tendrá en cuenta la deformación que les afecte realmente.

4.3.3.1.2 Valores límite

- 1 Las flechas, representadas esquemáticamente en la figura 4.1, se definen de la siguiente forma:

- w_c contraflecha
- w_1 flecha inicial debida a las acciones permanentes de la combinación considerada
- w_2 flecha debida a los efectos de larga duración de las acciones permanentes (efectos reológicos)
- w_3 flecha debida a las acciones variables de la combinación considerada, incluida la flecha debida a los efectos de larga duración donde sean relevantes
- w_{tot} flecha total correspondiente a la suma de w_1 , w_2 y w_3 ($w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3$)
- w_{max} flecha total teniendo en cuenta la contraflecha ($w_{max} = w_{tot} - w_c$)
- w_{act} flecha activa debida a las acciones variables y a los efectos reológicos de las acciones permanentes ($w_{act} = w_2 - w_3$)

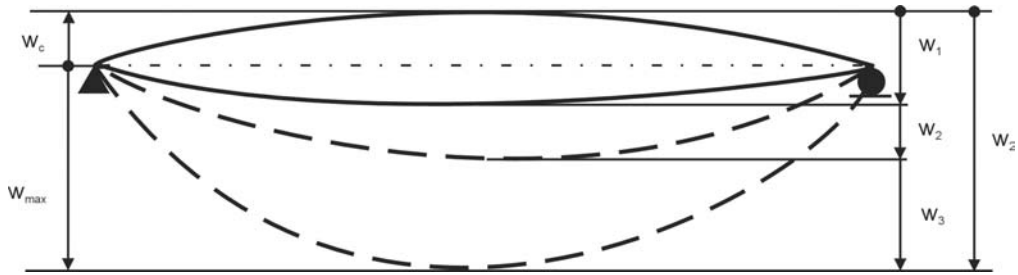


Figura 4.1. Definición de las flechas

- 2 La tabla 4.3 contiene valores límite para las flechas, en función del Estado Límite y de las consecuencias de los efectos de las acciones.

Tabla 4.3 Limitaciones de flechas en vigas y forjados ⁽¹⁾

Estado Límite	Consecuencias de los efectos de las acciones		
	Irreversibles	Reversibles	Reversibles
	Exigencia a cumplir para la combinación		
	Característica	Frecuente	Casi-permanente
<p>Correcto funcionamiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementos dañables de carácter frágil (tabiques rígidos, pavimentos rígidos sin juntas) • elementos dañables de carácter frágil con medidas constructivas para evitar daños (tabiques ordinarios, pavimentos rígidos con juntas) • elementos estructurales que no soportan tabiques, ni pavimentos rígidos • elementos dañables de carácter dúctil • equipos o instalaciones • puentes grúa <ul style="list-style-type: none"> • deformación vertical • deformación horizontal 	$W_{act} \leq L/500$ $W_{act} \leq L/400$ $W_{act} \leq L/300$	$W_{act} \leq L/300$ $W_3 \leq L/350$	
Confort y bienestar de los usuarios		$W_3 \leq L/350$	
<p>Apariencia de la obra</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementos estructurales principales • elementos estructurales secundarios 	$w_{max} \leq L/150$ ⁽²⁾ $w_{max} \leq L/150$ ⁽²⁾		$w_{max} \leq L/300$ ⁽²⁾

⁽¹⁾ En el caso de voladizos se considerará como L dos veces la luz del voladizo

⁽²⁾ Siempre que las deformaciones no afecten al correcto funcionamiento de otros elementos constructivos (portantes o no portantes) o de equipos e instalaciones.

- 3 Los desplazamientos horizontales, representados esquemáticamente en la figura 4.2, se definen de la siguiente forma:
- u desplazamiento horizontal total, referido a la altura del edificio
 - u_i desplazamiento horizontal relativo, referido a la altura de una planta

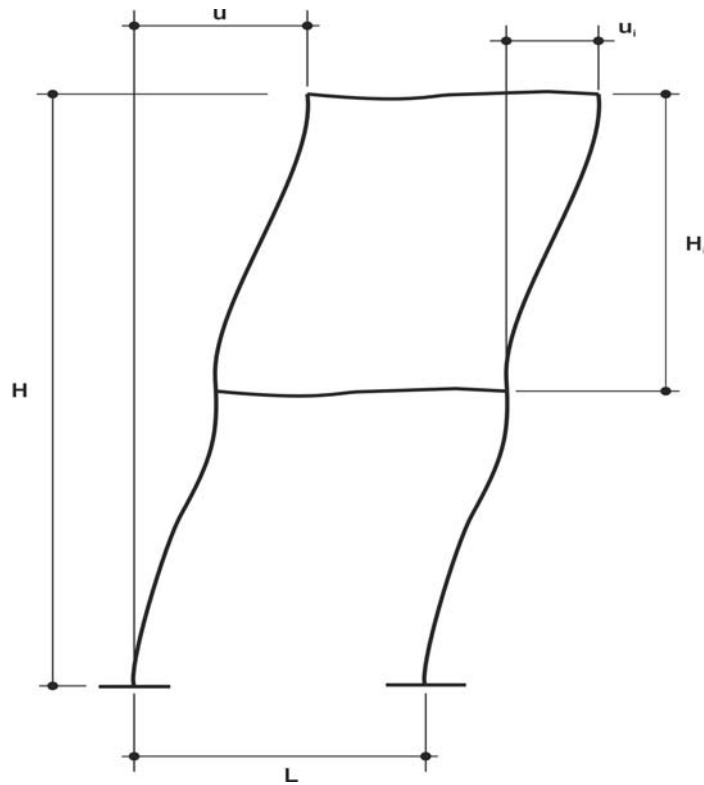


Figura 4.2. Definición de los desplazamientos horizontales

- 4 La tabla 4.4 contiene los valores límite para los desplazamientos horizontales en función del Estado Límite y de las consecuencias de los efectos de las acciones.

Tabla 4.4 Limitaciones de los desplazamientos horizontales

Estado Límite	Consecuencias de los efectos de las acciones		
	Irreversibles	Irreversibles	Irreversibles
	Exigencia a cumplir para la combinación		
	Característica	Característica	Característica
<p>Correcto funcionamiento de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementos dañables de carácter frágil (por ejemplo tabiques rígidos) • elementos dañables de carácter dúctil • equipos o instalaciones ⁽²⁾ • puentes grúa (apoyos de las vías) ⁽³⁾ 	$u_i \leq H_i / 500$ ⁽¹⁾	$u_i \leq H_i / 200$ ⁽¹⁾ $u \leq H / 300$	
Apariencia de la obra			$u_i \leq H_i / 250$ ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Desplazamientos horizontales debidos a las acciones variables.

⁽²⁾ Salvo que se establezcan otras indicaciones por parte del proveedor.

⁽³⁾ A la altura de los apoyos de las vías de un puente grúa, los desplazamientos horizontales de los marcos o de los pilares, debidos a las fuerzas horizontales que actúan perpendicularmente a las vías, no sobrepasarán (a falta de otras exigencias definidas por el proveedor del puente grúa) el límite de $H/300$, siendo H la altura de dichos apoyos. La diferencia entre los desplazamientos horizontales de dos apoyos enfrentados no sobrepasará los 20 mm.

- 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 los posibles daños. Estas medidas resultan particularmente indicadas si los elementos incorporados tienen un comportamiento frágil.

4.3.2.3 Vibraciones

4.3.2.3.1 Efectos de las acciones

- 1 Para verificar que el comportamiento de una estructura frente a las vibraciones es adecuado se comprobará que la frecuencia de la acción dinámica (frecuencia de excitación) se aparta suficientemente de las frecuencias propias de la estructura.
- 2 Las frecuencias propias de una estructura se estimarán con un valor superior y un valor inferior. Se tendrán en cuenta las posibles contribuciones de los revestimientos, barandillas o de otros elementos no portantes, así como la influencia de la variación del módulo de elasticidad dinámico y, en el caso de las estructuras de hormigón, la influencia de la fisuración.
- 1 Si las vibraciones pueden representar un riesgo para la estructura portante (por ejemplo debido a posibles fenómenos de resonancia, o debido a la pérdida de la resistencia por fatiga) se examinarán, también, en el marco de la verificación de la capacidad portante.

4.3.2.3.2 Valores límite

- 1 La tabla 4.5 contiene valores indicativos para las frecuencias propias (frecuencia fundamental o de un orden superior) de edificios susceptibles de sufrir vibraciones inducidas por movimientos rítmicos de las personas (en función del Estado Límite).

Tabla 4.5 Valores indicativos para las frecuencias propias de las estructuras

Estado Límite	Frecuencia propia [Hz]
Confort y bienestar de los usuarios en	
• gimnasios y polideportivos	> 8,0
• salas de fiesta y locales de concierto sin asientos fijos	> 7,0
• locales de concierto con asientos fijos	> 3,4
• obras para peatones	< 1,6 ó > 4,5

4.4 Efectos del tiempo

4.4.1 Durabilidad

4.4.1.1 Principios

- 1 En estructuras sometidas a acciones químicas, físicas o biológicas se asegurará que éstas no puedan inducir mecanismos de deterioro que comprometan 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 atenúan 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 de la estructura, 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.

4.4.1.2 Verificación mediante el método explícito

4.4.1.2.1 Efectos de las acciones

- 1 Las acciones químicas, físicas o biológicas pueden alterar los esfuerzos o el comportamiento estructural. Debe distinguirse entre influencia (como la combinación de la concentración de un agente agresivo, la humedad del aire y la temperatura, etc), acción (como la penetración del agente agresivo a través del hormigón) y el efecto de la acción (como la pérdida de adherencia o de sección).
- 2 Las acciones químicas, físicas o biológicas se tratarán como acciones variables.
- 3 Para las verificaciones de los estados límite últimos, el valor de cálculo de una acción química, física o biológica de la que depende la durabilidad de una estructura, $Q_{d,env}$, queda definido por la relación:

$$Q_{d,env} = \gamma_{Q,env} \cdot Q_{k,env} \quad (4.20)$$

siendo

$\gamma_{Q,env}$ coeficiente parcial para las acciones químicas, físicas o biológicas. Salvo estudios específicos, se adoptará el valor 1,5

$Q_{k,env}$ valor característico de una acción química, física o biológica

4.4.1.2.2 Resistencia

- 1 El valor de cálculo de la resistencia de una estructura, de un elemento estructural o de una unión entre elementos se determinará teniendo en cuenta los efectos de los posibles mecanismos de deterioro.

4.4.2 Fatiga

4.4.2.1 Principios

- 1 Para verificar la seguridad frente a la fatiga se comprobará que el efecto de las acciones variables repetidas que pueden solicitar una estructura no compromete su fiabilidad durante el período de servicio establecido.
- 2 En general, es necesario efectuar una verificación de la seguridad frente a la fatiga para estructuras sometidas a cargas variables repetidas debidas a maquinarias, oleaje, cargas de tráfico, vibraciones inducidas por ejemplo por el viento. En estructuras normales de edificación no resulta necesario, por regla general, efectuar una verificación de la seguridad frente a la fatiga.
- 3 La seguridad frente a la fatiga queda asegurada si se cumple la condición:

$$E_{d,fat} \leq \frac{R_{fat}}{\gamma_{fat}} \quad (4.21)$$

siendo

$E_{d,fat}$ valor de cálculo del efecto de las acciones de fatiga

R_{fat} resistencia a la fatiga

γ_{fat} coeficiente parcial para la resistencia a la fatiga

4.4.2.2 Efectos de las acciones

- 1 Para determinar el efecto de las acciones de fatiga se utilizarán modelos de carga que representen las acciones variables repetidas de forma adecuada. A falta de un modelo de carga de fatiga más adecuado, una acción variable repetida se podrá representar mediante una carga de fatiga que se establecerá de forma que produzca efectos superiores a los que produce dicha acción en la estructura real, incluidos los efectos dinámicos. En estos casos, la resistencia a la fatiga que debe considerarse en la verificación se corresponderá con el límite de fatiga.

4.4.2.3 Resistencia

- 1 Los valores de la resistencia a la fatiga y de los coeficientes parciales correspondientes deben establecerse en función de las características de una estructura, de sus detalles constructivos y de los materiales empleados. En los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales y en la Instrucción de hormigón estructural EHE se establecen valores específicos.

4.4.3 Efectos reológicos

- 2 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 de las acciones de larga duración debida a posibles efectos reológicos.

5 Verificaciones basadas en metodos experimentales

5.1 Campo de aplicación

- 1 Las verificaciones relativas a la seguridad estructural mediante ensayos están basadas en el establecimiento experimental de los 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. En la mayoría de los casos, el método se emplea con el fin de establecer los valores característicos o de cálculo de la resistencia de elementos estructurales o de uniones entre elementos, con propiedades específicas.
- 2 El campo de aplicación de este método es el siguiente:
 - a) elementos para cuyo dimensionado no se dispone de modelos teóricos adecuados;
 - b) casos para los que los datos habitualmente empleados en los análisis no reflejen adecuadamente las circunstancias particulares (por ejemplo debido a los métodos de fabricación poco habituales);
 - c) casos en los que los modelos disponibles para el dimensionado conducen previsiblemente a resultados conservadores o inciertos;

Quedan fuera del campo de aplicación los ensayos realizados con otro fin, como por ejemplo los ensayos de recepción de materiales o de su control de calidad, así como los ensayos geotécnicos.

5.2 Principios

- 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 La adquisición de datos durante la ejecución de los ensayos no se limitará a registrar los valores finales. Se observarán y se documentarán los fenómenos que se puedan producir antes y después de alcanzar el estado límite considerado, y que puedan contribuir a entender los mecanismos de resistencia.
- 4 En los métodos empleados para deducir los valores de cálculo a partir de los resultados experimentales se tendrá en cuenta el número limitado 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 según procedimientos estadísticos reconocidos.
- 5 Si los resultados experimentales se usan en el marco de un análisis probabilista, los datos obtenidos pueden ser empleados 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.

5.3 Planificación

- 1 Se establecerá un plan de ensayos que contendrá, como mínimo, la información relativa a:
 - a) el alcance de la información requerida de los ensayos (por ejemplo los parámetros a determinar, sus límites de validez);
 - b) la descripción de las propiedades y condiciones que, para el estado límite considerado, puedan incidir en el comportamiento de la estructura y de las probetas (por ejemplo los

- parámetros geométricos –incluidas las tolerancias–, las propiedades de los materiales, los parámetros que dependan de los procedimientos de fabricación o de montaje, los efectos de escala, las condiciones ambientales);
- c) los mecanismos de rotura esperados, así como los modelos empleados en un análisis teórico y las variables correspondientes;
 - d) las especificaciones relativas a las propiedades de las probetas (por ejemplo las dimensiones, los materiales a emplear, los procedimientos de fabricación, las condiciones de apoyo);
 - e) el número de probetas y el método de muestreo;
 - f) la adquisición de datos con anterioridad a la ejecución de los ensayos (por ejemplo las dimensiones geométricas de las probetas, las propiedades de los materiales empleados, parámetros ambientales tales como la temperatura o la humedad del aire);
 - g) las especificaciones relativas a las condiciones de introducción de las cargas y a las condiciones ambientales durante los ensayos (por ejemplo los puntos de introducción de las cargas, el control de la aplicación de las cargas en función del tiempo –control de la fuerza, o control de las de-formaciones–, la temperatura). Todas estas condiciones deben ser representativas para el elemento real;
 - h) la descripción del dispositivo de ensayo (por ejemplo la máquina de ensayo empleada, las medidas adoptadas para asegurar una resistencia y rigidez suficientes de la plataforma de trabajo, los gálibos necesarios para las deformaciones esperadas, las medidas de protección adoptadas);
 - i) los datos a adquirir durante los ensayos, los puntos de adquisición de los datos, los métodos empleados para la observación y el registro (por ejemplo la evolución de los desplazamientos, velocidades, aceleraciones, deformaciones unitarias, fuerzas y presiones, frecuencia y tolerancia requeridas de la adquisición de los datos, medios necesarios).

5.4 Diferencias entre las condiciones de los ensayos y de la estructura real

- 1 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.
- 2 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.

5.5 Evaluación de los resultados

5.5.1 Generalidades

- 1 La determinación directa del valor de cálculo de la resistencia de un elemento estructural o de un material se basa en las siguientes hipótesis:
 - a) la resistencia de la probeta empleada se representa a través de una única variable;
 - b) el mecanismo 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:

$$R_d = \frac{R_{k,est}}{\gamma_m} \cdot \frac{m_\eta}{\gamma_{Rd}} \quad (5.1)$$

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)
γ_m	coeficiente parcial para la resistencia del material
m_η	valor medio del factor de conversión, η

γ_{Rd} coeficiente de incertidumbre para el modelo de resistencia

- Como coeficiente parcial de la resistencia del material, γ_m , se adoptará el valor que, según los documentos básicos correspondientes, se emplee para el material y el mecanismo de rotura considerados. 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 γ_m .
- El coeficiente de incertidumbre para el modelo de resistencia, γ_{Rd} , tiene en cuenta el carácter aleatorio del factor de conversión, η , con respecto a las diferencias desconocidas entre las condiciones del ensayo y las condiciones en obra. Los valores de m_η y γ_{Rd} serán definidos por el técnico responsable de la investigación, 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 in situ. En general, los valores adoptados para el coeficiente de incertidumbre γ_{Rd} no serán inferiores a la unidad.

5.5.2 Estimación de la resistencia característica sin información previa

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

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

siendo

m_R valor medio de la muestra

s_R desviación típica de la muestra

k_σ coeficiente que depende del tamaño de la muestra (número de ensayos, n), según tabla 5.1

- La desviación típica de la distribución, σ_R , se estimará a partir de los resultados experimentales (desviación típica de la muestra, s_R).
- El valor numérico del coeficiente k_σ depende del número de ensayos, n . La tabla 5.1 contiene valores de k_σ para un fractil del 5%.

Tabla 5.1. Valores del coeficiente k_σ para una desviación típica σ_R desconocida a priori

Fractil [%]	Número de ensayos, n								
	3	4	6	8	10	20	30	100	infinito
5	3,15	2,68	2,34	2,19	2,10	1,93	1,87	1,76	1,64

5.5.3 Estimación de la resistencia característica con información previa

- Cuando exista información previa relativa a la desviación típica de la distribución, σ_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

σ_R desviación típica de la distribución

k_σ coeficiente que depende del tamaño de la muestra (número de ensayos, n), según tabla 5.2

- El valor numérico del coeficiente k_σ depende del número de ensayos, n . La tabla 5.2 contiene valores de k_σ para un fractil del 5%.

Tabla 5.2. Valores del coeficiente k_σ para una desviación típica σ_R conocida a priori

Fractil [%]	Número de ensayos, n								
	3	4	6	8	10	20	30	100	infinito
5	2,03	1,98	1,92	1,88	1,86	1,79	1,77	1,71	1,64

Anejo A Terminología

- 1 Los términos técnicos de carácter general, definidos a continuación, se emplearán en este documento DB-SE, así como en los otros documentos básicos de seguridad estructural correspondientes a los diferentes tipos de materiales. Estos últimos contienen las definiciones de otros términos técnicos específicos.

Acción accidental: acción con una pequeña probabilidad de ocurrencia, generalmente de corta duración y con efectos importantes.

Acción concomitante: acción que actúa simultáneamente con la acción preponderante.

Acción fija: Acción que tiene una distribución fija sobre la estructura y cuya magnitud y dirección están determinadas de forma inequívoca para el conjunto de la estructura, siempre que esta magnitud y dirección están determinadas en un punto de la misma.

Acción libre: Acción que puede tener cualquier distribución espacial sobre la estructura, sin límites dados.

Acción permanente: Acción que probablemente actuará durante una situación de proyecto determinada y cuya variación en magnitud con el tiempo es despreciable, ó cuya variación es monótona hasta que se alcance un determinado valor límite.

Acción preponderante: acción dominante en una situación de dimensionado.

Acción variable: Acción cuya variación en el tiempo no es monótona ni despreciable respecto al valor medio.

Acciones:

- a) Fuerza (carga) aplicada sobre la estructura (acción directa).
- b) Deformación impuesta ó aceleración causada por, ejemplo, por cambios de temperatura, variaciones de humedad, asientos diferenciales ó terremotos (acción indirecta).

Análisis estructural: Procedimiento o algoritmo para determinar los efectos de una acción en cada punto de la estructura.

Combinación de acciones: Conjunto de valores de cálculo utilizados para la comprobación de la fiabilidad estructural para un Estado Límite bajo la influencia simultánea de diferentes acciones.

Periodo de referencia: Periodo de tiempo que es utilizado como base para evaluar estadísticamente acciones variables y posibles acciones accidentales.

Efectos de las acciones: El efecto de las acciones en elementos estructurales, por ejemplo, esfuerzos, momentos, tensiones, deformaciones, ó en toda la estructura, como por ejemplo, rotación, desviación.

Elemento estructural: Parte físicamente distinguible de una estructura, como por ejemplo, una viga, una losa, un pilote.

Estado límite: Estados más allá de los cuales la estructura no satisface los requisitos de proyecto.

Estado límite de servicio: Estados más allá de los cuales no se satisfacen los requisitos de servicio especificados para una estructura ó un elemento estructural.

Estado límite último: Estados asociados al colapso o a otra forma similar de fallo estructural.

Fiabilidad: Grado de confianza de una estructura ó elemento estructural para satisfacer los requerimientos específicos de la misma, incluyendo la vida útil para la cual ha sido diseñada. La fiabilidad se expresa normal-mente en términos probabilísticos.

Modelo estructural: Idealización del sistema estructural utilizada para el análisis, diseño y verificación.

Riesgo: Suceso excepcional, inusual y violento, por ejemplo, acción ó suceso meteorológico anormal, insuficiente resistencia, ó excesiva desviación de las dimensiones especificadas.

Situación de dimensionado extraordinaria: situación de dimensionado incluyendo unas condiciones excepcionales para la estructura.

Situación de dimensionado persistente: Situación de proyecto que es relevante durante un periodo de tiempo similar a la vida útil de la estructura.

Estructura: Combinación organizada de partes conectadas entre sí, diseñadas para transportar cargas y proveer un cierto grado de rigidez.

Sistema estructural: Elementos resistentes de la construcción y forma en la que se considera que trabajan.

Valor característico: Es el principal valor representativo de una acción.

Valor de cálculo: Valor obtenido de multiplicar el valor representativo de una acción por el coeficiente parcial de seguridad γ_f .

Valor de combinación de una acción variable: Valor elegido – en tanto pueda ser fijado mediante bases estadísticas - de tal manera que la probabilidad de que los efectos causados por la combinación puedan superarse es aproximadamente similar a la del valor característico de una acción individual. Puede ser expresada como una parte determinada del valor característico, mediante la utilización de un factor $\psi_0 \leq 1$.

Valor frecuente de una acción variable: Valor que se determina – en tanto pueda ser fijado mediante bases estadísticas - de tal forma que el tiempo total dentro del periodo de referencia, durante el cual es excedido es sólo una pequeña parte dada del periodo de referencia, o que la frecuencia con la cual es excedido esta limitada a un valor dado. Puede ser expresado como una parte determinada del valor característico, mediante la utilización de un factor $\psi_1 \leq 1$.

Valor casi-permanente de una acción variable: Valor que se determina de tal forma que, en un cierto periodo, el tiempo total durante el cual es excedido, es una parte considerable del periodo de referencia. Puede ser expresado como una parte determinada del valor característico, mediante la utilización de un factor $\psi_2 \leq 1$.

Anejo B Notaciones y unidades

B.1 Notaciones

1 Mayúsculas latinas

A_d	Valor de cálculo de una acción accidental
C_{lim}	Valor límite para un efecto de las acciones en condiciones de servicio
E_d	Valor de cálculo de los efectos de las acciones
$E_{d,dst}$	Valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras
$E_{d,stb}$	Valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras
E_{su}	Efectos de las acciones para una determinada situación de dimensionado en condiciones de servicio
$F(..)$	Efecto de las acciones e influencias indicadas entre paréntesis
F_k	Valor característico de una acción
G	Acción permanente
G_d	Valor de cálculo de una acción permanente
G_k	Valor característico de una acción permanente
$G_{k,inf}$	Valor característico inferior de una acción permanente
$G_{k,sup}$	Valor característico superior de una acción permanente
H	Altura del edificio
H_i	Altura de una planta
L	Luz
P	Valor representativo de la acción de pretensado
P_m	Valor medio de la acción de pretensado
Q	Acción variable
Q_d	Valor de cálculo de una acción variable
Q_k	Valor característico de una acción variable simple
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable dominante
$Q_{k,i}$	Valor característico de la acción variable concomitante
$R(..)$	Resistencia en función de los valores indicados entre paréntesis
R_d	Valor de cálculo de la resistencia
R_k	Valor característico de la resistencia
X	Propiedad de un material o producto
X_d	Valor de cálculo de la propiedad de un material o producto
X_k	Valor característico de la propiedad de un material o producto

2 Minúsculas latinas

a_d	Valor de cálculo de una dimensión geométrica
a_{nom}	Valor nominal de una dimensión geométrica
u	Desplazamiento horizontal de una estructura referido a la altura del edificio
w	Flecha

3 Mayúsculas griegas

Δa	Desviación de una dimensión geométrica de un valor nominal
------------	--

4 Minúsculas griegas

γ_m	Coeficiente parcial para la propiedad de un material o de un producto que tiene en cuenta las desviaciones desfavorables con respecto al valor característico
γ_M	Coeficiente parcial para la resistencia
γ_P	Coeficiente parcial para la acción del pretensado

γ_Q	Coeficiente parcial para una acción variable
$\gamma_{Q,1}$	Coeficiente parcial para la acción variable dominante
$\gamma_{Q,i}$	Coeficiente parcial para una acción variable concomitante
γ_{Rd}	Coeficiente parcial para el modelo de resistencia y las desviaciones geométricas
η	Factor de conversión
ψ	Coeficiente de reducción
ψ_0	Coeficiente para el valor de combinación de una acción variable
ψ_1	Coeficiente para el valor frecuente de una acción variable
ψ_2	Coeficiente para el valor casi-permanente de una acción variable

B.2 Unidades

- 1 Se utiliza el Sistema Internacional de Unidades de Medida, SI.
- 2 Para los cálculos se recomienda el uso de las unidades siguientes:
 - fuerzas y cargas: kN, kN/m, kN/m²
 - masa: kg
 - longitud: m, mm
 - tensiones: N/mm²
 - momentos: kN · m
- 3 A efectos prácticos se podrá considerar la siguiente correspondencia entre las unidades de fuerza de los sistemas MKS y SI: 1 kilopondio [1 kp] = 10 Newton [10 N]

Anejo C Principios de los métodos probabilistas explícito e implícito

C.1 Objetivos y campo de aplicación

- 1 Los objetivos de este Anejo son:
 - a) la recopilación de las bases en que se fundamentan los capítulos 3, 4, 5 de DB-SE;
 - b) la introducción de algunas recomendaciones relativas a la aplicación de los métodos probabilistas explícitos.
- 2 En principio, los métodos probabilistas explícitos se pueden emplear para la verificación de cualquier problema que se pueda describir a través de unas relaciones matemáticas, y siempre que sea posible identificar el conjunto de los correspondientes eventos aleatorios.
- 3 Las principales aplicaciones de los métodos probabilistas explícitos se pueden dividir en dos grupos:
 - a) la calibración de modelos probabilistas implícitos (por ejemplo la calibración de los coeficientes parciales);
 - b) la aplicación directa para la adopción de decisiones relacionadas con las prestaciones de las estructuras (por ejemplo para el dimensionado de estructuras nuevas en los casos en los que los métodos implícitos resulten inadecuados, o para la evaluación de estructuras existentes).
- 4 El contenido de este Anejo es aplicable para las verificaciones relativas a la capacidad portante (Estados Límite Últimos). En muchos casos, también es aplicable para la verificación de la aptitud al servicio en los casos de Estados Límite de Servicio irreversibles. En general, las reglas y el contenido de este Anejo no son aplicables a Estados Límite de Servicio reversibles.

C.2 Incertidumbres asociadas con las variables básicas

C.2.1 Fuentes de incertidumbres

- 1 Se pueden distinguir tres tipos de incertidumbres asociadas con las variables básicas:
 - a) la variabilidad aleatoria inherente;
 - b) las incertidumbres debidas a la falta de conocimientos;
 - c) las incertidumbres estadísticas.A su vez, cada uno de estos tipos de incertidumbres se puede subdividir.
- 2 La variabilidad aleatoria inherente se puede dividir en incertidumbres de dos categorías, según estén o no afectadas por actividades humanas.

Muchos parámetros relativos a las acciones y a las influencias pertenecen al segundo tipo (por ejemplo la velocidad del viento, la carga de nieve sobre el terreno). También existen parámetros de resistencia correspondientes a este segundo tipo (por ejemplo los parámetros de resistencia de un terreno).

Ejemplos correspondientes al primer tipo de incertidumbres son la resistencia de los materiales constructivos (por ejemplo hormigón, acero) o las dimensiones de elementos estructurales. Estas incertidumbres se pueden reducir mediante métodos de fabricación o de producción más avanzados, o a través de métodos de control más adecuados.
- 3 Las incertidumbres debidas a la falta de conocimientos se pueden subdividir en dos categorías, las relativas a las incertidumbres de los modelos, y las que dependen de la evolución futura de ciertos parámetros.

Las incertidumbres de los modelos, que se pueden referir tanto a los modelos de las acciones y de sus efectos como a los modelos de resistencia, se pueden reducir a través de la mejora de los conocimientos mediante ensayos o investigaciones teóricas.

A la segunda categoría pertenecen, por ejemplo, las incertidumbres sobre la evolución futura de las cargas útiles. Las posibilidades de reducción de estas incertidumbres son más reducidas.
- 4 Las incertidumbres estadísticas están asociadas con la evaluación estadística de los resultados de ensayos, mediciones u otras observaciones, y pueden ser debidas a:

- a) la falta de identificación y de distinción entre diferentes poblaciones estadísticas;
- b) un número limitado de resultados que conduce a incertidumbres en la estimación de los parámetros estadísticos (por ejemplo del valor medio o de la desviación típica);
- c) la no consideración de las variaciones sistemáticas de las variables analizadas (por ejemplo de parámetros climáticos);
- d) una extrapolación excesiva de la información estadística;
- e) la no consideración de posibles correlaciones;
- f) el empleo de distribuciones estadísticas para la descripción de incertidumbres cuyo origen solo en parte es estadístico.

Normalmente, las incertidumbres estadísticas se pueden reducir a través de un mayor número de ensayos u observaciones.

C.2.2 Obtención de datos básicos

- 1 Los valores numéricos de los parámetros que caractericen un modelo y sus incertidumbres se pueden obtener por las siguientes vías:
 - a) mediciones u observaciones;
 - b) análisis;
 - c) adopción de decisiones;
 - d) discernimiento.

Con frecuencia, los valores numéricos de los parámetros se obtienen combinando datos obtenidos por diferentes vías (la resistencia a tracción del hormigón se puede determinar a partir de la medición de su resistencia a compresión y un análisis mediante una función de conversión; la carga útil de un puente grúa se establece mediante decisión y las fuerzas dinámicas adicionales se pueden determinar mediante análisis; las cargas útiles en edificios se pueden determinar mediante observación en combinación con una hipótesis mediante discernimiento sobre la evolución futura).

- 2 Las variables básicas que tengan en cuenta las incertidumbres se caracterizarán mediante parámetros tales como el valor medio, la desviación típica, las correlaciones con otras variables y el tipo de distribución estadística. En los casos en los que los valores numéricos de estos parámetros se determinen de acuerdo con C.2.2(1a) o C.2.2(1b), el procedimiento incluirán un análisis estadístico de los datos y los resultados se representarán en términos estadísticos.

Si al contrario los valores numéricos de los parámetros de las variables básicas se determinan de acuerdo con C.2.2(1c) o C.2.2(1d), no es posible, normalmente, una representación directa en términos estadísticos. No obstante, a efectos de la aplicación de los métodos probabilistas, también a estas variables se les deben asignar parámetros estadísticos.

- 3 Las incertidumbres debidas a errores tales como los errores de medición o los efectos escala, se evitarán mediante la adopción de medidas adecuadas como por ejemplo una eficaz gestión eficaz de la calidad del proceso de obtención de los datos básicos (2.4).

C.2.3 Selección de distribuciones estadísticas

- 1 En muchos casos, el número reducido de datos disponibles no permite determinar de manera inequívoca una función de distribución estadística. Por este motivo, se seleccionará una distribución que tenga unas características apropiadas en relación con la variable básica considerada, teniendo en cuenta el posible sesgo.
- 2 Para las acciones permanentes se puede adoptar una distribución normal, siempre y cuando la posibilidad de que se produzcan valores negativos no resulte contradictoria con otras hipótesis y no pueda ser la causa de resultados erróneos. En caso contrario, una distribución del tipo lognormal, Weibull, Gamma, o de valores extremos resultará más conveniente.

Para las acciones variables, una distribución del tipo lognormal, Weibull, Gamma, o de valores extremos resulta más conveniente, particularmente si la distribución debe representar un valor máximo en un determinado periodo de tiempo.
- 3 Para las propiedades de los materiales y para las dimensiones, una distribución del tipo normal o lognormal suele ser adecuada. Una distribución lognormal resulta preferible si, debido a motivos físicos u otras circunstancias, no se pueden producir valores negativos.

C.3 Criterios para el fallo de estructuras

C.3.1 Estados Límite Últimos

- 1 Se asume que el criterio de fallo de una estructura o de un elemento estructural se rige según una función $g(X)$ de las variables básicas X , de manera que:

a) Para el estado deseado

$$g(\underline{X}) > 0 \quad (C.1a)$$

b) Para el estado límite

$$g(\underline{X}) = 0 \quad (C.1b)$$

c) Para el estado no deseado

$$g(\underline{X}) < 0 \quad (C.1c)$$

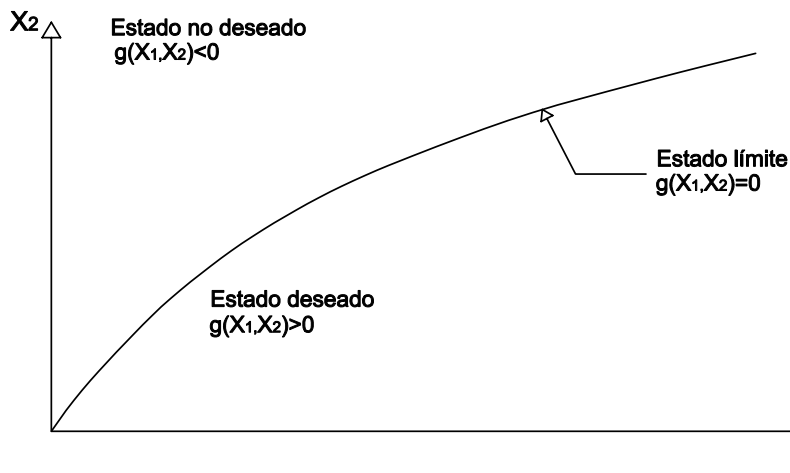


Figura C.1 Representación de la función $g(X)$ para el caso con dos variables básicas X_1 y X_2 ; $X = (X_1, X_2)$

- 2 Las variables básicas X pueden depender del tiempo (por ejemplo las acciones ambientales extremas pueden variar con el tiempo, los materiales constitutivos pueden estar afectados por mecanismos de deterioro en función del tiempo, la resistencia puede disminuir con el tiempo debido a procesos de fatiga).

En general, algunas de las variables de X se deben representar mediante procesos estocásticos. En particular, la variabilidad con el tiempo significa que los máximos y mínimos de las variables de X no se producen al mismo tiempo.

La dependencia del tiempo implica que la probabilidad de fallo está asociada con un periodo de referencia elegido, t_0 .

- 3 El fallo de una estructura o de un elemento estructural se asocia con su transición de un estado deseado a un estado no deseado. Para la mayoría de los Estados Límite Últimos, la probabilidad de fallo se puede representar a través de la relación:

$$P_f = P[g(\underline{X}) < 0] \quad (C.2)$$

La probabilidad de no fallo (probabilidad de supervivencia, P_s , o fiabilidad) de una estructura o de un elemento estructural es el complemento de la probabilidad de fallo:

$$P_s = 1 - P_f \quad (C.3)$$

- 4 Si se analiza la fiabilidad de un elemento estructural o de una sección transversal con respecto a un determinado mecanismo de fallo y una determinada combinación de acciones e influencias, la función $g(X)$ se puede describir, normalmente, a través de una expresión única derivada del comportamiento mecánico. En estos casos, el análisis se puede considerar como un análisis de un elemento (en este contexto, elemento se emplea desde el punto de vista probabilista de la palabra).

- 5 En los casos en los que se contemple más de un mecanismo de fallo para un elemento estructural, o si se estudian simultáneamente varios elementos (estructurales), la función $g(X)$ puede considerarse como una función compuesta por varias funciones $g_1(X)$, $g_2(X)$...

Un análisis que tenga en cuenta simultáneamente varias condiciones $g_i(X) < 0$ se denomina análisis de un sistema. La definición de la función $g(X)$ depende fuertemente de las características del sistema (sistemas en los que el fallo de una sección conduce al fallo total; sistemas redundantes; sistemas con un comportamiento combinado).

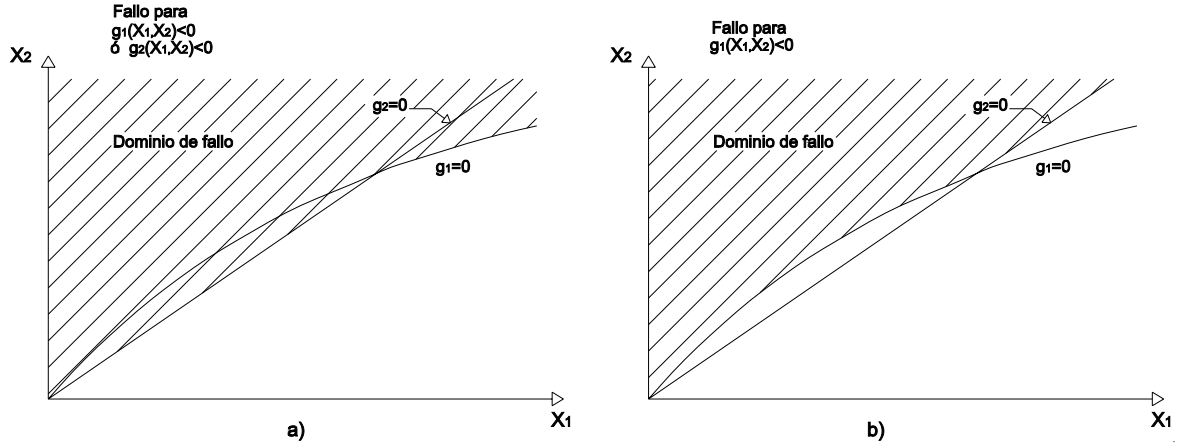


Figura C.2 Dominios de fallo para un ejemplo con dos funciones $g_1(X_1, X_2)$ y $g_2(X_1, X_2)$ con dos variables básicas X_1 y X_2 . a) Fallo del sistema inducido por el fallo de una sección; b) Fallo de un sistema redundante

- 6 En una aplicación directa de los métodos probabilistas explícitos se debe demostrar que en el periodo de referencia, t_0 , la probabilidad de fallo de la estructura o del elemento estructural, P_f , no supera la probabilidad de fallo admisible, $P_{f,0}$

$$P_f \leq P_{f,0} \quad (C.4)$$

C.3.2 Estados Límite de Servicio

- 1 Para algunos Estados Límite de Servicio, la transición de un estado deseado a un estado no deseado corresponde a un límite que puede estar acotado al estar asociado con una realidad mecánica. Para otros Estados Límite de Servicio, sin embargo, esta transición se produce en condiciones poco acotadas y difusas. En estos casos, la transición está relacionada con una disminución más o menos rápida del grado de la aptitud al servicio.
- 2 En términos generales, se puede definir un grado de la aptitud al servicio, m , en función de un parámetro relacionado con el comportamiento en servicio, I (por ejemplo la deformación de una viga, la intensidad de las vibraciones de un forjado)

$$0 \leq \mu(\lambda) \leq 1 \quad (C.5)$$

Para el parámetro I se pueden establecer dos límites

- a) λ_1 : la obra se puede usar sin restricciones
- b) λ_2 : la obra no se puede usar.

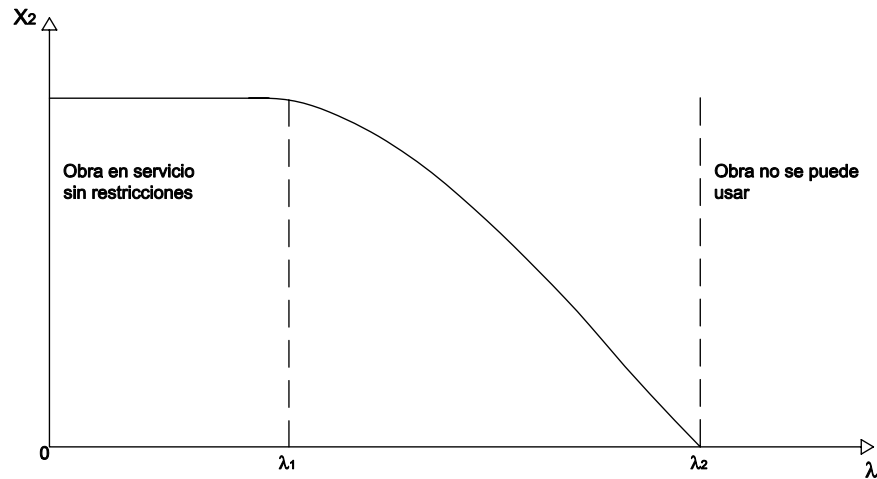


Figura C.3 Grado de la aptitud al servicio, m , en función del parámetro de servicio, λ

- 3 En algunos casos, a efectos de una optimización económica, el grado de la aptitud al servicio se puede expresar en términos económicos.

C.4 Niveles de fiabilidad

C.4.1 Seguridad de las personas

- 1 La fiabilidad estructural está relacionada, en primer lugar, con la posibilidad de que se produzcan daños personales (muertos, heridos) como consecuencia de un colapso.

Un valor máximo aceptable para la probabilidad de fallo se puede determinar a partir de una comparación con los riesgos mortales asociados con otras actividades de la vida diaria (por ejemplo viajar en coche). A estos efectos, se debe distinguir entre los riesgos mortales desde el punto de vista de las personas como individuos (riesgo mortal individual) y desde el punto de vista de la sociedad (riesgo colectivo para las personas).

- 2 Para el riesgo mortal individual asociado con el colapso de las estructuras se podría asumir un valor admisible que esté aproximadamente dos órdenes de magnitud por debajo del valor total del riesgo mortal individual asociado con accidentes en general.

La probabilidad de fallo admisible para una estructura depende de la probabilidad condicional de que una persona muera dado el colapso de esta estructura, y del riesgo mortal individual admisible, asociado con las estructuras

$$P(f | \text{año}) \cdot P(d | f) \leq r_{i,adm} \quad (C.6)$$

siendo

$P(f | \text{año})$ probabilidad de fallo de la estructura para un periodo de referencia de un año

$P(d | f)$ probabilidad de que un usuario del edificio, presente en el momento del colapso, encuentre la muerte, dado el colapso del edificio (probabilidad condicional)

$r_{i,adm}$ riesgo mortal individual admisible, asociado con las estructuras (expresado en términos de [(número de muertos) / ($10^6 \cdot \text{año}$)])

- 3 El requisito (C.6) se refiere a un periodo de un año y se debería considerar como un valor medio sobre un determinado periodo de referencia (por ejemplo el periodo de servicio previsto o, alternativamente, un periodo del orden de 10 a 20 años). En términos generales, desviaciones de este valor medio anual serían aceptables. Valores superiores, sin embargo, solo se podrían aceptar para un periodo de tiempo mucho más breve que el periodo de referencia.
- 4 Desde el punto de vista social, se deben evitar accidentes (frecuentes) con un gran número de muertos. A estos efectos, se deberá cumplir la condición

$$P(f | \text{año}) \leq A \cdot N^{-\alpha} \quad (C.7)$$

siendo

$P(f | \text{año})$ probabilidad de fallo de la estructura para un periodo de referencia de un año

- N número esperado de muertos
 A constante (por ejemplo $A = 0,01$ a $0,1$)
 α constante (por ejemplo $a = 1$ a 2)

La selección de valores numéricos para las constantes A y a depende de la política de seguridad de las autoridades y deberá estar basada en un consenso social.

- 5 En algunos casos, se puede admitir una probabilidad de fallo de una estructura que supere el valor más restrictivo de los deducidos de las condiciones (C.6) y (C.7). Eso es el caso si se adoptan medidas de protección específicas (por ejemplo un plan de evacuación en caso de emergencia), con el fin de cumplir con los requisitos relativos a, respectivamente, el riesgo mortal individual y el riesgo colectivo para las personas.

C.4.2 Optimización económica

- 1 Desde el punto de vista económico, el nivel de fiabilidad requerido se puede determinar estableciendo un equilibrio entre las consecuencias de un fallo de una estructura y el coste de las medidas de protección y de seguridad.
- 2 El objetivo de una optimización económica consiste en minimizar el coste total acumulado durante el periodo de servicio previsto. Formalmente, el coste total se puede representar mediante la relación

$$C_{\text{tot}} = C_b + C_m + \sum (P_f \cdot C_f) \quad (\text{C.8})$$

siendo

- C_{tot} coste total
 C_b coste del proyecto y de la ejecución
 C_m coste esperado para inspección, mantenimiento y demolición
 C_f coste del fallo
 P_f probabilidad de fallo

La suma $\sum (P_f \cdot C_f)$ se deberá establecer para todas las situaciones de riesgo independientes y todos los posibles mecanismos de fallo.

Esta representación del coste total contiene un alto grado de simplificación y se debe detallar más a efectos de una aplicación práctica.

- 3 En los casos en los que el fallo (colapso) de una estructura pueda afectar a las personas (caso normal), además de los criterios económicos, la estructura deberá cumplir con los requisitos relacionados con la fiabilidad mínima. En estos casos, la optimización condicional se puede llevar a cabo para la relación (C.8), siempre y cuando se cumpla con los requisitos deducidos de (C.6) y (C.7).
- 4 En algunos casos, el coste del riesgo ($\sum (P_f \cdot C_f)$) puede estar cubierto por un seguro.

C.4.3 Valores numéricos

- 1 Los valores numéricos relativos a la fiabilidad de una estructura se expresan a menudo en términos del índice de fiabilidad, b, relacionado con la probabilidad de fallo, P_f , a través de

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (\text{C.9})$$

La tabla C.1 contiene valores numéricos para la relación entre el índice de fiabilidad, b, y la probabilidad de fallo, P_f .

Tabla C.1 Relación entre el índice de fiabilidad, b, y la probabilidad de fallo, P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,3	2,3	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2

- 2 Los valores numéricos de la probabilidad de fallo (y de los correspondientes índices de fiabilidad) a los que hacen referencia los principios de C.3 y que se pueden determinar según los métodos mencionados en C.5, representan valores nominales y no describen la frecuencia real de fallos estructurales. Las diferencias sustanciales entre la probabilidad de fallo nominal y la frecuencia real de fallos estructurales se debe por un lado a que en realidad los fallos son debidos, en muchos casos, a errores humanos y, por otro lado, a las simplificaciones introducidas a través de los modelos.

Debido a que las probabilidades de fallo se deben interpretar como valores nominales, las probabilidades de fallo admisibles deben basarse en los resultados de una calibración. El empleo de valores de este tipo para caracterizar la fiabilidad requerida de una estructura está relacionado con un conjunto consistente y específico de modelos probabilistas y de modelos estructurales. El empleo de valores calibrados para la probabilidad de fallo admisible (o para el índice de fiabilidad requerido) en combinación con otros modelos no es admisible, ya que conduce a resultados distorsionados en cuanto al nivel de fiabilidad.

- 3 La tabla C.2 representa valores calibrados para el índice de fiabilidad requerido, referidos a todo el periodo de servicio de la estructura, en función de las consecuencias de un fallo estructural y del coste relativo de un incremento de la fiabilidad.

Tabla C.2 Valores nominales, referidos a todo el periodo de servicio, para el índice de fiabilidad requerido

Coste relativo para incrementar la fiabilidad	Consecuencias de un fallo estructural			
	despreciables	pequeñas	moderadas	grandes
elevado	0	1,5	2,3	3,1
moderado	1,3	2,3	3,1	3,8
bajo	2,3	3,1	3,8	4,3

Los valores de la tabla C.2 se han deducido aplicando los métodos de los valores de cálculo (C.6), adoptando las siguientes hipótesis para las funciones de distribución de los modelos probabilistas:

- a) modelos de resistencia lognormal o Weibull
 - b) acciones permanentes normal
 - c) acciones variables Gumbel.
- 4 Valores recomendados, referidos a todo el periodo de servicio de la estructura, para el índice de fiabilidad requerido son:
 - a) para Estados Límite de Servicio
 - reversibles $b = 0$
 - irreversibles $b = 1,5$
 - b) para fatiga $b = 2,3$ a $3,1$ (en función de las posibilidades de inspección)
 - c) para Estados Límite Últimos $b = 3,1; 3,8; 4,3$

El empleo de estos valores a efecto de un análisis probabilista explícito requiere necesariamente la adopción de las mismas hipótesis en las que se basan los valores nominales de la tabla C.2.

C.5 Determinación de probabilidades de fallo

C.5.1 Problemática general

- 1 En términos generales, la determinación de la probabilidad de fallo requiere establecer la probabilidad

$$P_f = P \left\{ \bigcup_i \bigcap_j g_{ij}(\underline{X}, t) < 0 \text{ para } t \in [0, T] \right\} \quad (\text{C.10})$$

siendo

g_{ij} funciones de fallo (Funciones Límite) en el espacio de las variables básicas

i número del modo de fallo

j número del elemento.

$g_{i1} \leq 0$, $g_{i2} \leq 0$, etc. especifica una secuencia de fallo de una estructura para un determinado modo de fallo, i .

- 2 La dependencia del tiempo puede estar relacionada con las acciones e influencias, o con la resistencia (por ejemplo debido a un mecanismo de deterioro).
- 3 Algunas de las variables X pueden ser funciones del tiempo y de coordenadas espaciales.

C.5.2 Problemas invariables en el tiempo

- 1 En los casos en los que todas las variables X puedan considerarse invariables en el tiempo, la probabilidad de fallo, P_f , se determina a partir de la relación

$$P_f = \int_{DF} f_x(\underline{x}) d\underline{x} \quad (C.11)$$

siendo

$f_x(\underline{x})$ función de densidad de probabilidad conjunta de las variables aleatorias básicas X (no procesos aleatorios)

DF Dominio de Fallo

En general, los dominios de fallo quedan definidos por las intersecciones y uniones de los dominios caracterizados por:

$$g_{ij}(\underline{X}) \leq 0 \quad (C.12)$$

- 2 Valores numéricos de la probabilidad de fallo se pueden determinar mediante:
 - a) métodos analíticos exactos;
 - b) métodos de integración numérica;
 - c) métodos analíticos aproximados (FORM: First Order Reliability Method; FOSM: First Order Second Moment Method; SORM: Second Order Reliability Method);
 - d) métodos de simulación.

En algunos casos se puede emplear una combinación de diferentes métodos.

C.5.3 Transformación de problemas variables en problemas invariables en el tiempo

- 1 En relación con las estructuras, se pueden distinguir dos tipos de problemas variables en el tiempo:
 - a) fallos debidos a una sobrecarga (primera travesía);
 - b) fallos por acumulación de daños (por ejemplo fatiga, corrosión).

La dependencia del tiempo se debe a la variabilidad en el tiempo de las acciones e influencias y/o de la resistencia (mecanismos de deterioro).

En general, las acciones, influencias o resistencias que sean variables en el tiempo, se deben representar a través de procesos estocásticos.
 - 2 En el caso de un fallo debido a una sobrecarga, el proceso puede ser sustituido por una distribución probabilista representando la incertidumbre para el periodo de tiempo para el que se debe determinar la probabilidad de fallo.
- A estos efectos, el valor medio se podrá adoptar como el valor máximo esperado en el periodo de referencia. Para la incertidumbre aleatoria se podrá adoptar la correspondiente al valor máximo esperado.
- 3 La función empleada para describir un fallo por fatiga se podrá expresar, por ejemplo, en los términos de las curvas SN y de la regla de Palmgren – Miner. De esta manera, y si se refiere a un determinado periodo de tiempo, la función es invariable en el tiempo.

C.6 Métodos basados en la determinación de los valores de cálculo

C.6.1 Generalidades

- 1 El estado límite considerado podrá especificarse mediante un modelo de cálculo en términos de una (o varias) función(es) $g(\dots)$ de un conjunto de variables X_1, X_2, \dots, X_n relativas a las acciones, las características de los materiales, etc. En este caso, la condición de ausencia del fallo de la estructura asociado con el estado límite considerado, se podrá expresar en la forma

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq 0 \quad (C.13)$$

- 2 A efectos de la verificación del estado límite considerado, la condición (C.13) se podrá expresar en términos de los valores de cálculo de las variables

$$g(x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}) \geq 0 \quad (C.14)$$

$x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}$ valores de cálculo de las variables X_1, X_2, \dots, X_n (según C.6.2).

C.6.2 Valores de cálculo según el método FORM

- El valor de cálculo x_{id} de la variable X_i depende de:
 - los parámetros de la variable X_i ;
 - el tipo de distribución probabilista asumida;
 - el índice de fiabilidad, β , requerido para el estado límite y la situación de dimensionado considerados;
 - un factor α_i que describe la sensibilidad de la probabilidad de fallo, asociada con el estado límite y la situación de dimensionado considerados, con respecto a la variación de X_i .
- Para una distribución arbitraria $F(x_i)$, los valores de cálculo se definen por

$$F(x_{id}) = \Phi(-\alpha_i \beta) \quad (C.15)$$

Para variables X_i con una distribución normal, se obtiene

$$x_{id} = \mu_i (1 - \alpha_i \cdot \beta \cdot V_i) \quad (C.16)$$

siendo

μ_i valor medio de la variable X_i

V_i coeficiente de variación de la variable X_i .

Para variables X_i con una distribución lognormal, se obtiene

$$x_{id} = \xi_i \exp(-\alpha_i \cdot \beta \cdot v_i) \quad (C.17)$$

donde

$$\xi_i = \frac{\mu_i}{\sqrt{1 + V_i^2}}$$

$$v_i = \sqrt{\ln(1 + V_i^2)}$$

Para valores pequeños de V_i , por ejemplo $V_i \leq 0,25$, se puede asumir

$$\xi_i \approx \mu_i$$

$$v_i \approx V_i$$

C.6.3 Factores de sensibilidad según el método FORM

- Si las variables aleatorias son estadísticamente independientes, los factores de sensibilidad, α_i , a emplear en un análisis mediante el método FORM, tienen las siguientes propiedades:

$$-1 \leq \alpha_i \leq 1 \quad (C.18)$$

$$\sum \alpha_i^2 = 1 \quad (C.19)$$

- En principio, los valores de α_i se deberían determinar a partir de un análisis, mediante el método FORM, de un conjunto representativo de estructuras. Este procedimiento requiere unos cálculos iterativos laboriosos, por lo que no se presta para aplicaciones prácticas. Por este motivo, la tabla C.3 contiene un conjunto de valores normalizados para α_i , basados en la experiencia.

Tabla C.3 Valores normalizados para los factores de sensibilidad α_i

	Variable X_i	Factor de sensibilidad α_i
Resistencia	Variable dominante de resistencia	0,8
	Otras variables de resistencia	$0,4 \cdot 0,8 = 0,32$
Acciones / influencias	Acción / influencia dominante	- 0,7
	Otras variables relativas a acciones / influencias	$- 0,4 \cdot 0,7 = -0,28$

Debido a la adopción de unas hipótesis conservadoras, los valores indicados en la tabla C.3 no cumplen la condición (C.19). Con el fin de limitar los errores cometidos al aplicar estos valores, se debe cumplir la siguiente condición:

$$0,16 < \frac{\sigma_{E1}}{\sigma_{R1}} < 6,6 \quad (C.20)$$

siendo

σ_{E1} desviación típica de la variable correspondiente a la acción / influencia dominante

σ_{R1} desviación típica de la variable dominante de resistencia.

- 3 Al efectuar un análisis estructural, no es posible saber de antemano cuál de las variables se debe considerar como dominante. A estos efectos, se deberá efectuar el análisis haciendo dominantes todas las variables (una a la vez) con el fin de deducir según cual de ellas se rige el problema.

C.7 El formato de los coeficientes parciales

C.7.1 Coeficientes parciales basados en valores de cálculo

- 1 Los métodos probabilistas implícitos que se utilizan normalmente en la práctica a efectos del dimensionado de las estructuras, no emplean directamente valores de cálculo para las variables, x_d . Las variables aleatorias se introducen mediante sus valores representativos (según 3), que se emplean con un conjunto de coeficientes parciales para las acciones e influencias y para la resistencia (según IV).

- 2 En la mayoría de los casos, la condición a cumplir se podrá expresar en los siguientes términos

$$g(x_d) = R_d - E_d \geq 0 \quad (C.21)$$

siendo

E_d valor de cálculo de los efectos de las acciones / influencias

R_d valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

- 3 Los valores de cálculo de los efectos de las acciones / influencias y de la resistencia, respectivamente, se podrán expresar a través de

$$E_d = E(F_d, a_d, \theta_d, \dots) \quad (C.22)$$

$$R_d = R(f_d, a_d, \theta_d, \dots) \quad (C.23)$$

siendo

F_d valores de cálculo de las acciones / influencias

a_d valores de cálculo de las dimensiones geométricas

θ_d valores de cálculo de los coeficientes de incertidumbre de los modelos

f_d valores de cálculo de las propiedades de los materiales.

- 4 Los valores de cálculo de las diferentes variables se determinarán a partir de las siguientes relaciones

- a) Valor de cálculo de una acción / influencia

$$F_d = \gamma_f \cdot F_k \quad (C.24a)$$

$$F_d = \gamma_f \cdot \psi_0 \cdot F_k \quad (C.24b)$$

siendo

F_k valor característico de una acción / influencia

γ_f coeficiente parcial para la misma acción / influencia

ψ_0 coeficiente para el valor de combinación de una acción variable.

- b) Valor de cálculo de una propiedad de un material

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (C.25)$$

siendo

f_k valor característico de una propiedad de un material

γ_m coeficiente parcial para la misma propiedad del material

c) Valor de cálculo de una dimensión geométrica

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (C.26)$$

siendo

a_{nom} valor nominal de la dimensión

Δa desviación de la dimensión de su valor nominal

d) Valor de cálculo del coeficiente de incertidumbre de un modelo

Normalmente, los valores de cálculo de los coeficientes de incertidumbre de los modelos se introducen en los cálculos a través de los coeficientes parciales, respectivamente para el modelo de los efectos de las acciones, g_{Ed} , y para el modelo de resistencia, g_{Rd} :

$$E_d = \gamma_{Ed} \cdot E(\gamma_f \cdot F_k, \gamma_f \cdot \psi_0 \cdot F_k, a_{nom} \pm \Delta a, \dots) \quad (C.27)$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R\left(\frac{f_k}{\gamma_m}, a_{nom} \pm \Delta a, \dots\right) \quad (C.28)$$

- 5 Los coeficientes parciales se podrán deducir a partir de los valores de cálculo de las variables, determinados por ejemplo según C.6, de acuerdo con las relaciones:

$$\gamma_f = \frac{F_d}{F_k} \quad (C.29)$$

$$\gamma_m = \frac{f_k}{f_d} \quad (C.30)$$

- 6 Desde un punto de vista práctico, el formato anterior para la determinación de los valores de cálculo de los efectos de las acciones y de la resistencia conduce a cálculos laboriosos. Por este motivo se podrán adoptar las siguientes simplificaciones:

a) para los efectos de las acciones y de las influencias

$$E_d = E(\gamma_F \cdot F_k, a_{nom}) \quad (C.31)$$

b) para la resistencia

$$R_d = R\left(\frac{f_k}{\gamma_M}, a_{nom}\right) \text{ o alternativamente} \quad (C.32a)$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R(f_k, a_{nom}) \quad (C.32b)$$

En estos casos, los coeficientes parciales γ_F y γ_M o γ_R deberán calibrarse de modo que (C.31) y (C.32) conduzcan a los mismos resultados que las ecuaciones originales.

- 7 En el marco de los métodos probabilistas implícitos del capítulo 4 se adoptan diferentes representaciones. La representación del valor de cálculo de los efectos de las acciones en 4.2.2 se corresponde a la representación simplificada (C.31). Para la representación del valor de cálculo de la resistencia se emplean diferentes alternativas con las siguientes equivalencias: La relación (4.6) se corresponde a (C.28), (4.7) a (C.32a), y (4.9) a (C.32b), respectivamente.

C.7.2 Coeficientes parciales calibrados

- 1 Partiendo de un formato arbitrario de coeficientes parciales, el objetivo de la calibración consiste en la deducción de coeficientes parciales de modo que la fiabilidad de las estructuras resultantes se desvíe lo menos posible de la fiabilidad requerida y predefinida.
- 2 El proceso de calibración consta de los siguientes pasos:
 - a) Definición de un formato de coeficientes parciales

$$g\left(\frac{f_{k1}}{\gamma_{m1}}, \frac{f_{k2}}{\gamma_{m2}}, \dots, \gamma_{f1} \cdot F_{k1}, \gamma_{f2} \cdot F_{k2}, \dots\right) \geq 0 \quad (\text{C.33})$$

siendo

f_{ki} valor característico de una propiedad (por ejemplo la resistencia) del material i

γ_{mi} coeficiente parcial para la misma propiedad del material i

F_{kj} valor característico (representativo) de la acción j

γ_{fj} coeficiente parcial para la acción j

b) Selección de un conjunto de n elementos estructurales representativos que cubran adecuadamente el campo de aplicación de los modelos a calibrar en cuanto a:

- los tipos de acciones;
- las dimensiones de las estructuras;
- los materiales constitutivos;
- los estados límite considerados.

c) Dimensionado de los n elementos estructurales representativos, aplicando un conjunto de coeficientes parciales ($\gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \dots, \gamma_{f1}, \gamma_{f2}, \dots$). A cada uno de los elementos así dimensionados le corresponderá un nivel de fiabilidad, expresado por ejemplo en términos de índice β que se desviará más o menos de la fiabilidad requerida y predefinida, β_t .

d) La desviación entre el nivel de fiabilidad de los n elementos y la fiabilidad requerida se podrá expresar en los siguientes términos

$$D = \sum_{k=1}^n [\beta_k(\gamma_{mi}, \gamma_{fj}) - \beta_t]^2 \quad (\text{C.34})$$

siendo

β_t valor requerido del índice de fiabilidad

β_k índice de fiabilidad correspondiente al elemento k, dimensionado con los coeficientes parciales ($\gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \dots, \gamma_{f1}, \gamma_{f2}, \dots$).

e) Selección del conjunto de coeficientes parciales que conduzca al valor mínimo de D.

f) Alternativamente, el nivel de fiabilidad se podrá expresar en términos de la probabilidad de fallo.

3 En los casos en los que los n elementos estructurales tengan importancias relativas desiguales, D se podrá determinar introduciendo unos factores de importancia. Los valores que excedan el valor admisible de la probabilidad de fallo deberían penalizarse más que los valores que se queden por debajo de la probabilidad de fallo admisible.

Anejo D Evaluación estructural de edificios existentes

D.1 Generalidades

D.1.1 Campo de aplicación

- 1 Este Anejo define las bases y los procedimientos para la evaluación estructural de edificios existentes, en concordancia con los principios del análisis de la fiabilidad estructural.
- 2 Los conceptos básicos para el análisis de la fiabilidad de una estructura están establecidos en el Anejo C. No obstante, debido a consideraciones de tipo económico, social o medioambiental, puede existir un mayor grado de diferenciación de la fiabilidad estructural para la evaluación de estructuras existentes que para el dimensionado de estructuras de nueva construcción.
- 3 Las especificaciones establecidas en este Anejo son aplicables para la evaluación estructural de cualquier tipo de edificio existente, siempre y cuando cumplan alguna de las siguientes condiciones:
 - a) La estructura original se ha concebido, dimensionado y construido de acuerdo con las reglas de dimensionado en vigor en el momento de su realización, o según las reglas generalmente aceptadas en este momento.
 - b) La estructura se ha construido de acuerdo con la buena práctica, la experiencia histórica y la práctica profesional aceptada.
- 4 La evaluación de la seguridad estructural en caso de incendio está fuera del alcance de este documento. No obstante la evaluación de la seguridad de una estructura después de un incendio, se podrá efectuar de acuerdo con los principios de este Anejo.

D.2 Inicio de la evaluación

D.2.1 Motivos

- 1 La evaluación estructural de un edificio existente se realiza, normalmente por alguno de los siguientes motivos:
 - a) cambio de la uso;
 - b) extensión del periodo de servicio;
 - c) alteración de su estructura;
 - d) observación de daños estructurales;
 - e) observación de movimientos del terreno;
 - f) después de situaciones extraordinarias (choque, incendio, explosión, sismo, etc.);
 - g) por requerimiento de las autoridades, de las compañías aseguradoras, de la propiedad, etc.;
 - h) nuevos conocimientos que aconsejen una evaluación.

D.3 Marco global para la evaluación

D.3.1 Procedimiento

D.3.1.1 Generalidades

- 1 La evaluación estructural de un edificio existente se realizará, normalmente, mediante una verificación cuantitativa de su capacidad portante y, en su caso, de su aptitud al servicio. Para ello, puede adoptarse un procedimiento de evaluación por fases que tenga en cuenta las condiciones actuales del edificio. Cuando no sea posible o necesaria una verificación cuantitativa, y siempre que se satisfagan los criterios establecidos en el apartado D.7, se podrá realizar una evaluación cualitativa.
- 2 Análogamente a las estructuras de nueva construcción, el procedimiento de evaluación (cuantitativa) por fases debe abarcar, en principio, las verificaciones relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio (3.1). Los posibles procesos de deterioro se tendrán debidamente en cuenta en las distintas verificaciones.

- 3 La utilización directa de las normas y reglas establecidas para el dimensionado de las estructuras de nueva en la evaluación estructural de un edificio existente no resulta adecuada, por los siguientes motivos:
 - a) Una evaluación debe realizarse teniendo en cuenta las características y las condiciones actuales de una estructura, lo que normalmente no está contemplado en las normas de dimensionado.
 - b) Las normas actuales suelen estar basadas en exigencias más estrictas que las que estaban en vigor en el momento del dimensionado de una estructura existente, por lo cual, muchas de dichas estructuras se clasificarían como no fiables si se evaluaran según las normas actuales.
 - c) Para edificios existentes se puede considerar, en muchos casos, un período de servicio reducido, lo que se traduce también en una reducción de las exigencias.
 - d) En la evaluación estructural de edificios existentes se pueden emplear los modelos de análisis más afinados (a través inspecciones, ensayos, mediciones in situ o consideraciones teóricas), lo que puede aportar beneficios adicionales.
- 4 Para realizar la evaluación estructural es conveniente seguir un procedimiento por fases, cada una de las cuales se definirá en función los objetivos de la evaluación (D.3.2), y de las circunstancias y condiciones específicas de la misma (la disponibilidad del proyecto original, la observación de daños estructurales, el uso del edificio, etc.).
- 5 En cada una de las fases se incrementa la precisión de las hipótesis para la evaluación, así como el grado de detalle de los métodos de análisis respecto de la fase anterior. El proceso concluye cuando en alguna de las fases se alcanza una conclusión inequívoca sobre la fiabilidad de la estructura o sobre las medidas a adoptar. En caso de que las conclusiones de alguna de las fases así lo aconsejen, se adoptarán medidas de aseguramiento de la estructura (apartado D.8) con el fin de proteger a las personas o al medio ambiente.
- 6 En los casos en los que no resulte posible verificar una capacidad portante o una aptitud al servicio adecuada, el informe final también contendrá las recomendaciones necesarias sobre las medidas a adoptar, entre las cuales se puede distinguir:
 - a) medidas técnico – administrativas para el control de los riesgos;
 - b) medidas constructivas.
- 7
- 8 Con carácter general pueden establecerse tres fases diferenciadas:
 - a) 1ª Fase: Evaluación preliminar
 - b) 2ª Fase: Evaluación detallada
 - c) 3ª Fase: Evaluación con métodos de análisis de la fiabilidad.

D.3.1.2 Evaluación preliminar

- 1 Una evaluación preliminar incluye, normalmente:
 - a) recopilación y estudio de la documentación disponible;
 - b) inspección preliminar;
 - c) elaboración de las bases para la evaluación;
 - d) verificación preliminar de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de los principales elementos estructurales.

D.3.1.3 Evaluación detallada

- 1 Una evaluación detallada incluye, normalmente:
 - a) la determinación del estado de la estructura mediante una inspección detallada, incluida la cuantificación de posibles daños;
 - b) la actualización de la geometría y de los planos de la estructura;
 - c) la actualización de las características de los materiales;
 - d) la actualización de las acciones;
 - e) la actualización de las bases para la evaluación;
 - f) el análisis estructural detallado;
 - g) la verificación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio.

D.3.1.4 Evaluación con métodos de análisis de la fiabilidad

- 1 Una evaluación con métodos de análisis de la fiabilidad incluye, normalmente:
 - a) la determinación de las situaciones de riesgo o de los estados de utilización determinantes;
 - b) la adquisición, en su caso, de más datos sobre las características de la estructura o de los materiales, o sobre las acciones;
 - c) la determinación de los modelos probabilistas de las variables;
 - d) el análisis estructural;
 - e) la verificación con métodos de fiabilidad.

D.3.2 Especificación de los objetivos de la evaluación

- 1 Los objetivos de la evaluación estructural de un edificio se deben especificar claramente, antes de su inicio, en términos de las prestaciones futuras de la estructura.
- 2 Las prestaciones futuras de una estructura se definen sobre la base de las siguientes categorías de exigencias:
 - a) El nivel de fiabilidad en relación con la resistencia y la estabilidad de la estructura.
 - b) El aseguramiento de la continuidad del funcionamiento de obras de especial importancia, tales como hospitales, edificios de comunicación o similares, por ejemplo en el caso de un impacto, o de un terremoto.
 - c) Las exigencias específicas de la propiedad en relación con la protección de los bienes de la propiedad (protección frente a pérdidas económicas) o con la aptitud al servicio. El nivel de estas exigencias se basa normalmente en requisitos funcionales específicos y en criterios de optimización.

D.3.3.3 Bases para la evaluación**D.3.3.1 Generalidades**

- 1 Por los motivos mencionados en el apartado D.3.1.1 (3), la verificación de la capacidad portante de una estructura existente se podrá basar en reglas que divergen de las reglas empleadas en el dimensionado de estructuras de nueva construcción.
- 2 La evaluación de la capacidad portante de una estructura existente se efectuará teniendo en cuenta su capacidad de deformación así como su modo de rotura previsible. En particular, se verificará si es posible una redistribución de los esfuerzos y si a un inminente fallo preceden deformaciones importantes.

D.3.3.2 Recopilación de la documentación disponible

- 1 Se recopilará toda la información disponible sobre la estructura a evaluar y se controlará si la misma es suficiente para llevar a cabo, de manera fiable, una evaluación estructural. En particular, se verificará si esta documentación ha sido actualizada después de cada reparación, refuerzo, rehabilitación o alteración.

D.3.3.3 Determinación del estado actual y actualización de información

- 1 Previamente a la evaluación de una estructura se determinará el estado actual de la misma, actualizando la información relativa a:
 - a) las acciones e influencias;
 - b) las dimensiones de la obra y de la estructura;
 - c) los materiales empleados y sus características;
 - d) el sistema estático y el comportamiento estructural.
- 2 La determinación del estado actual de una estructura incluirá particularmente la determinación de:
 - a) daños y anomalías;
 - b) alteraciones del estado original de la estructura;
 - c) deformaciones y desplazamientos;
 - d) indicios de corrosión;
 - e) indicios de daños por fatiga;

- f) indicios de otros fenómenos de envejecimiento.
- 3 En los siguientes casos puede ser necesario proceder a una actualización detallada de la información disponible sobre la estructura:
 - a) no existe información previa sobre la estructura;
 - b) detección de discrepancias entre la estructura real y la información previa;
 - c) la evaluación (preliminar o detallada) de la estructura no permite justificar su capacidad portante.
- 4 Los resultados de la determinación del estado actual de la estructura, y en su caso de su actualización, se representarán de manera completa e inequívoca. Estos resultados se incorporarán a la documentación de la obra.

D.3.3.4 Actualización de las bases de cálculo

- 1 Para la evaluación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de una estructura existente resultan determinantes las situaciones de riesgo y los estados de utilización relevantes para el periodo de servicio restante. A estos efectos se revisarán y, según el caso, se adaptarán o completarán las situaciones de riesgo y los estados de utilización que se hayan tenido en cuenta en el proyecto original. En caso de que no se disponga de las bases del proyecto original, se establecerán las situaciones de riesgo y los estados de utilización a efectos de la evaluación.
- 2 Los daños y anomalías observados con ocasión de la determinación del estado actual de una estructura –incluida la influencia de deformaciones, desplazamientos, corrosión, fatiga y envejecimiento en general– se tendrán debidamente en cuenta en la determinación de las situaciones de riesgo y de los estados de utilización. Estos daños y anomalías también se tendrán en cuenta en la adopción de las hipótesis sobre los posibles mecanismos de fallo.
- 3 En los casos en los que no se pueda demostrar una fiabilidad estructural adecuada, resulta recomendable considerar la posibilidad de adoptar medidas administrativas (limitación de las sobrecargas, incremento de las medidas de inspección u otras).
- 4 Las situaciones de riesgo y los estados de utilización, así como las medidas previstas para alcanzar las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio, respectivamente, se deberán reflejar en las bases de cálculo actualizadas.
- 5 Ciertos riesgos pueden ser aceptables, bien porque la frecuencia de ocurrencia de las situaciones que estén en su origen, bien porque las consecuencias en caso de ocurrencia de una de estas situaciones resultan suficientemente pequeñas. La aceptación de estos riesgos requiere la adopción de medidas adicionales (D.3.3.5), que se deben acordar con la propiedad del edificio, y en su caso también con la autoridad competente. Los riesgos aceptados se reflejarán en la memoria.

D.3.3.5 Control de riesgos: Inspección y planificación de medidas

- 1 Aquellos riesgos relacionados con estructuras que no se atenúen a través de medidas constructivas (riesgos aceptados), deben mantenerse en niveles aceptables mediante medidas de inspección y de control (observación, inspecciones periódicas, mediciones de control, monitorización), cuyo objetivo consistirá en la detección de los posibles daños o anomalías en un estado temprano, para poder adoptar las medidas adecuadas que mitiguen los riesgos antes de que se pueda producir un evento no deseado.
- 2 El alcance y la intensidad de las medidas de inspección y de control se determinarán en función de las características y de la importancia de la obra, así como en función del tipo y de las características de los riesgos aceptados.
- 3 Las medidas para la reducción de las consecuencias de los riesgos aceptados deben planificarse cuidadosamente, con el fin de eliminar o limitar la posibilidad de daños a personas, al medio ambiente o a los bienes.
- 4 El alcance de estas medidas se establecerá en función de las características y de la importancia de la obra, así como en función del tipo y de las características de los riesgos aceptados.

D.3.4 Evaluación

D.3.4.1 Evaluación cuantitativa

- 1 Se realizará una verificación mediante cálculo de la capacidad portante y de la aptitud al servicio de una estructura existente en los siguientes casos:

- a) no exista ningún análisis estático o en su caso dinámico relativos a la estructura a evaluar;
 - b) en la determinación del estado actual de la estructura se han detectado discrepancias entre la estructura real y los documentos disponibles sobre la estructura o las hipótesis originales;
 - c) en la actualización de las bases de cálculo se deben considerar situaciones de riesgo o estados de utilización adicionales, que no estaban contemplados en el proyecto original.
- 2 La evaluación cuantitativa se basará en modelos que representen de manera fiable las acciones que actúen sobre la estructura, el comportamiento estructural y la resistencia de sus elementos (D.4).
 - 3 La precisión requerida de los modelos analíticos y numéricos depende de la fase de la evaluación (D.3.1). Esta precisión se puede incrementar a través de la adquisición de datos sobre la estructura (D.4).
 - 4 El análisis estructural y las verificaciones correspondientes se realizarán de acuerdo con D.5 y D.6, respectivamente.

D.3.4.2 Evaluación cualitativa

- 1 En estructuras en las que una verificación según los métodos indicados en el D.6 resulte imposible o poco fiable, se podrá llevar a cabo una evaluación cualitativa de la capacidad portante y de la aptitud al servicio (D.7).
- 2 Las estructuras que hayan demostrado un comportamiento satisfactorio en el pasado, podrán evaluarse cualitativamente. En caso de que no se cumpla alguno de los criterios enumerados en D.7, se realizará a una evaluación cuantitativa.

D.3.5 Resultados

- 1 Los resultados de la evaluación, así como los trabajos efectuados se documentarán adecuadamente. El informe contendrá por lo menos la siguiente información:
 - a) objetivos de la evaluación;
 - b) descripción de la estructura;
 - c) recopilación de información y adquisición de datos;
 - d) documentación recopilada y analizada;
 - e) objetivos y realización de las inspecciones efectuadas;
 - f) planificación y ejecución de ensayos;
 - g) resultados;
 - h) análisis;
 - i) verificación;
 - j) discusión;
 - k) opciones de intervención;
 - l) recomendaciones.
- 2 Cuando se demuestre una fiabilidad adecuada de la estructura, ésta se podrá seguir usando en las condiciones establecidas. En estos casos, se definirá un programa de inspección y de mantenimiento en concordancia con las características y la importancia de la obra.
- 3 Cuando no pueda demostrarse una fiabilidad adecuada de la estructura, los resultados de la evaluación podrán ser usados para la elaboración de las recomendaciones oportunas sobre las medidas a adoptar. Según el caso, estas medidas podrán ser técnico – administrativas o constructivas. En algunos casos, las conclusiones de una evaluación preliminar pueden aconsejar la adopción de medidas de aseguramiento de la estructura (D.3.1.2(4)).
- 4 El objetivo de las medidas técnico – administrativas (D.8) es controlar, modificar o atenuar los riesgos relacionados con las estructuras. Las medidas constructivas (D.8) están destinadas a modificar la estructura de manera que cumpla con las exigencias según los objetivos establecidos para el periodo de servicio futuro (D.3.2). El objetivo de las medidas de aseguramiento de la estructura (D.8) consiste en la protección inmediata de las personas o del medio ambiente (D.3.1.2(4)).
- 5 Las medidas a adoptar para asegurar, restablecer o mantener la fiabilidad de una estructura deben ser planificadas adecuadamente.

D.4 Adquisición y actualización de información

D.4.1 Generalidades

- 1 La información y los datos necesarios para realizar una evaluación estructural están relacionados con:
 - a) el sistema estructural;
 - b) las acciones (pasadas y futuras) sobre la estructura;
 - c) las influencias ambientales que actúen sobre la estructura;
 - d) las características de los materiales;
 - e) las dimensiones de los elementos estructurales;
 - f) otras características y condiciones específicas para la estructura.

D.4.2 Planificación

- 1 El programa y los métodos de inspección, ensayos y mediciones para la adquisición y la actualización de la información sobre una estructura, se adaptarán a las características de la misma.
- 2 El programa de inspección, ensayos y mediciones incluirá como mínimo:
 - a) la selección de los parámetros a actualizar;
 - b) la definición de los métodos para las inspecciones, los ensayos y las mediciones;
 - c) la selección de probetas y testigos;
 - d) la disposición de los ensayos y las condiciones de ejecución;
 - e) la determinación del número de ensayos;
 - f) la definición de los métodos de evaluación.
- 3 La ejecución de las inspecciones, de los ensayos y de las mediciones se realizará de acuerdo con la planificación previa. Las técnicas de adquisición de los datos serán compatibles con las tolerancias requeridas.
- 4 La evaluación de los resultados de los ensayos se realizará según métodos estadísticos reconocidos. La representación de los resultados depende del método de análisis empleado, semi-probabilista o probabilista (D.4.7.2).

D.4.3 Sistema global

- 1 Será necesario determinar o controlar las dimensiones globales de la estructura, en los siguientes casos:
 - a) la información disponible no contiene los datos correspondientes;
 - b) la estructura ha sido alterada sin que exista documentación fiable al respecto;
 - c) no se pueden excluir discrepancias entre la información disponible y la estructura real.
- 2 Los condicionantes estáticos y cinemáticos que resulten determinantes para el comportamiento estructural se comprobarán en obra. Por ejemplo:
 - a) las condiciones de apoyo;
 - b) los empotramientos;
 - c) la libertad de movimiento de apoyos y juntas;
 - d) la capacidad de deformación.Estos condicionantes resultan fundamentales para la definición de los sistemas estáticos que deben adoptarse en la evaluación.
- 3 Para las verificaciones posteriores se establecerán las vías de la transmisión de las fuerzas, incluidas las relativas al terreno.
- 4 Las influencias del terreno sobre la estructura se establecerán de manera suficientemente precisa.

D.4.4 Acciones

- 1 El peso propio de los elementos portantes, así como las cargas permanentes de los elementos no portantes se comprobarán en obra. Los valores asumidos según la información previa se adaptarán en consecuencia.

- 2 Las acciones climáticas se adoptarán sobre la base de las mediciones efectuadas en estaciones meteorológicas representativas para la obra objeto de la evaluación estructural, durante un periodo de tiempo adecuado. En la determinación de estas acciones se tendrá en cuenta que sus efectos extremos no se pueden deducir directamente de los valores medidos. En el ajuste de los valores extremos se podrá tener en cuenta el periodo de servicio restante.
- 3 Las acciones variables de uso dependen del uso futuro de la obra. En algunos casos se podrán adoptar, a efectos de la evaluación, unos modelos específicos para las acciones variables de uso – modelos adaptados al caso estudiado, normalmente menos conservadores que los modelos correspondientes según la normativa en vigor para el dimensionado de estructuras de nueva construcción—. En estos casos, se adoptarán disposiciones adicionales con el fin de asegurar que no se sobrepasen los valores extremos establecidos.

D.4.5 Influencias ambientales

- 1 Las influencias ambientales de origen físico, químico o biológico que puedan afectar a las características de los materiales o a la resistencia de los elementos estructurales, así como los posibles cambios en las influencias ambientales que puedan tener su origen en un cambio de uso o en la modificación de una estructura existente o de su entorno, se tendrán cuenta de forma adecuada.
- 2 En los casos en los que existan incertidumbres al respecto, las influencias ambientales se determinarán mediante inspecciones, ensayos o mediciones.

D.4.6 Resistencia

- 1 La geometría y las dimensiones de los elementos estructurales se controlarán en obra mediante inspecciones y mediciones. Este control resulta particularmente importante en los siguientes casos:
 - a) la información disponible no contiene los datos correspondientes;
 - b) la estructura ha sido alterada;
 - c) no se pueden excluir discrepancias entre la información disponible y la estructura real;
 - d) existen indicios sobre daños o anomalías.
- 2 En los casos en los que las características de los materiales no se puedan deducir de manera fiable a partir de la información disponible, éstas se determinarán mediante ensayos no destructivos o destructivos. Esto es particularmente válido en los siguientes casos:
 - a) la información disponible no contiene los datos correspondientes;
 - b) no se pueden excluir discrepancias entre la información disponible y la estructura real;
 - c) existe la posibilidad de que se hayan desarrollado mecanismos de deterioro;
 - d) las características pueden estar alteradas por la influencia de acciones (por ejemplo después de un incendio).
- 3 Si se determinan las características de los materiales directamente en la obra o sobre probetas, el muestreo será estadísticamente representativo para las características en cuestión. A estos efectos se tendrán en cuenta el uso de la estructura, así como las influencias ambientales.

D.4.7 Evaluación de los ensayos y representación de los resultados

D.4.7.1 Evaluación de ensayos o mediciones

- 1 En los casos en los que el número de resultados experimentales, o el número de las mediciones sea suficiente, la determinación de los datos a tener en cuenta en una evaluación cuantitativa de una estructura existente se realizará según los métodos clásicos de la teoría de la estadística.
- 2 Si el número de resultados es limitado, la aplicación de los métodos clásicos de la estadística puede conducir a valores conservadores debido a la influencia de los errores de estimación.
- 3 Si se dispone de información previa, esta puede combinarse adecuadamente con los resultados obtenidos en un número limitado de ensayos o mediciones, con el fin de deducir una información mejorada.

D.4.7.2 Representación de los resultados

- 1 La representación de los resultados obtenidos en la evaluación de los ensayos o de las mediciones dependerá del método de análisis empleado, semi-probabilista o probabilista.

Análisis semi-probabilista

- 2 En un análisis semi-probabilista, las variables que intervienen en una verificación se caracterizan por sus valores representativos que se utilizan conjuntamente con los correspondientes coeficientes parciales. Consecuentemente, a efectos de un análisis semi-probabilista, el objetivo de la evaluación de los ensayos o de las mediciones consistirá en la determinación del valor representativo de la variable correspondiente.
- 3 La definición del valor representativo dependerá de la variable contemplada, y deberá ser consistente con la definición del coeficiente parcial correspondiente. Salvo que exista información en sentido contrario, la definición del valor representativo de una variable se corresponderá con lo indicado en 3.4.

Análisis probabilista

- 4 En un análisis probabilista, las variables que intervienen en una verificación se representarán mediante las correspondientes funciones de densidad de probabilidad. En muchos casos, estas funciones pueden ser caracterizadas a través de sus principales parámetros (valor medio, desviación típica, tipo de distribución).
- 5 A falta de un análisis más detallado, se le asignará a una determinada variable el mismo tipo de distribución que se haya tenido en cuenta en la calibración de los modelos para las acciones y para la resistencia de las estructuras de nueva construcción (Anejo C) de las diferentes normas estructurales que estén en vigor.

D.4.8 Comportamiento estructural

- 1 En los casos en los que existan incertidumbres en relación con las características o el comportamiento (estático o dinámico) de una estructura, o cuando resulte imposible determinar adecuadamente las dimensiones o las propiedades de los materiales, se valorará la conveniencia de determinar experimentalmente las prestaciones de una estructura.
- 2 Si se necesita información sobre el comportamiento dinámico de una estructura y ésta no se puede extraer de otras fuentes, se realizarán ensayos dinámicos.
- 3 En la evaluación y en la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos relativos al comportamiento estático o dinámico de una estructura, se tendrá en cuenta que estos ensayos se llevan a cabo para cargas de servicio, mientras que la capacidad portante se debe evaluar para estados avanzados de las cargas.

D.5 Análisis estructural**Modelos**

- 1 Para el análisis de una estructura existente se deben emplear modelos que reflejen adecuadamente las acciones y las influencias, el comportamiento estructural y la resistencia de los elementos. En particular, los modelos empleados deben reflejar el estado actual de la estructura y tener en cuenta los procesos de deterioro que puedan ser importantes.

Estados límite

- 2 El análisis de una estructura comprenderá los Estados Límite Últimos y en su caso los Estados Límite de Servicio, utilizando las variables básicas pertinentes y teniendo en cuenta los procesos de deterioro que sean importantes.

Variables básicas

- 3 Mediante la actualización de la información sobre la estructura existente, se determinarán las siguientes variables básicas para su uso en los distintos análisis:
 - a) Acciones;
 - b) dimensiones y características de la estructura y de sus elementos;
 - c) condiciones geotécnicas y características del terreno;
 - d) propiedades de los materiales;
 - e) incertidumbres de los modelos.

Incertidumbres de los modelos

- 4 En la evaluación de una estructura existente se tendrán en cuenta las incertidumbres asociadas con los modelos. En un análisis semi-probabilista se adoptarán a estos efectos los coeficientes parciales adecuados, mientras que en un análisis probabilista se introducirá una variable del modelo.

Factores de conversión

- 5 La influencia de los efectos de escala o de forma, de la duración de la aplicación de una carga, de la temperatura o de la humedad se tendrán en cuenta mediante coeficientes de conversión adecuados.

Estado de los elementos

- 6 En el análisis de una estructura existente se tendrá en cuenta el nivel de incertidumbre relativa a las condiciones y el estado de los elementos. A estos efectos se podrá ajustar la dispersión asumida por ejemplo para la capacidad portante de los elementos, o para las dimensiones de sus secciones transversales.

Modelos de deterioro

- 7 Si se observa el deterioro de una estructura existente, deben identificarse los mecanismos de deterioro. Sobre la base de investigaciones teóricas o experimentales, inspecciones y la experiencia, se determinará un modelo de deterioro que permita predecir el comportamiento futuro de la estructura.

D.6 Verificación**D.6.1 Generalidades**

- 1 Las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio dependen del periodo de servicio restante. Las verificaciones de la capacidad portante y de la aptitud al servicio se efectuarán sobre la base de las situaciones de riesgo y de los estados de utilización actualizados.
- 2 En la verificación de la capacidad portante según D.6.2.1 y, en su caso, según D.6.2.2 y D.6.2.3, se tendrá en cuenta la información actualizada. También la verificación de la aptitud al servicio (D.6.3) se basará en la información actualizada.
- 3 En casos especiales, la verificación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio se podrá realizar según métodos alternativos a los indicados en los apartados D.6.2 y D.6.3, siempre y cuando estos métodos estén científicamente reconocidos. En ciertos casos (D.3.4.2), las verificaciones podrán basarse en una evaluación cualitativa (según D.7).
- 4 En los casos en los que una estructura no tenga una fiabilidad adecuada según D.6.2.3, se adoptarán medidas de aseguramiento de la estructura (D.8.1) con el fin de proteger a las personas o al medio ambiente.
- 5 En función de los resultados obtenidos en las distintas verificaciones, puede ser necesaria una limitación del periodo de servicio restante, o la adopción de otras medidas administrativas (D.8.2). Al final del periodo de servicio restante, se debe efectuar una nueva evaluación estructural, o poner fuera de servicio la obra.
- 6 En los casos en los que, durante el periodo de servicio restante, se puedan producir situaciones extraordinarias, éstas se tendrán en cuenta en la verificación de la capacidad portante. Situaciones de este tipo están caracterizadas por acciones accidentales tales como por ejemplo choques, explosiones, incendios, sismo.
- 7 En la verificación de la capacidad portante para situaciones extraordinarias, se tendrá en cuenta la interacción entre las acciones y el comportamiento estructural (por ejemplo la rigidez o las deformaciones plásticas)
- 8 Si durante el periodo de servicio restante actúan sobre la estructura cargas variables repetidas o si se pueden producir vibraciones por resonancia, se realizará una verificación de la seguridad frente a la fatiga.

D.6.2 Verificación de la capacidad portante**D.6.2.1 Evaluación preliminar**

- 1 Una estructura, un elemento estructural o una unión entre elementos tiene una capacidad portante adecuada para el periodo de servicio restante si para las situaciones de dimensionado consideradas se cumple la condición:

$$E_d \leq R_d \quad (D.1)$$

E_d valor de cálculo del efecto de las acciones (fuerzas, momentos, un vector representando diferentes fuerzas o momentos, etc.)

- R_d valor de cálculo de la resistencia correspondiente
- 2 El valor de cálculo del efecto de las acciones se determinará según 4.2.2 teniendo en cuenta los valores representativos actualizados de las acciones y de todas las influencias relevantes (D.4). Los coeficientes parciales para las acciones se establecerán según el apartado 4.2.4.
 - 3 El valor de cálculo de la resistencia se determinará según 4.2.3 y según las especificaciones de los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales. En la determinación de la resistencia se tendrá en cuenta la información actualizada sobre la estructura (por ejemplo las propiedades de los materiales, D.4). Los coeficientes parciales para la resistencia se tomarán de los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales.
 - 4 En las verificaciones se podrán emplear modelos para las acciones o para la resistencia que difieren de las especificaciones establecidas en el CTE, siempre y cuando estos modelos queden justificados mediante ensayos o mediante consideraciones teóricas, y si se respetan los principios de la fiabilidad estructural establecidos en este DB-SE.
 - 5 La verificación de la estabilidad del conjunto de una estructura, o de la seguridad frente a la rotura del terreno se realizará por analogía con la verificación de la capacidad portante según D.6.2.1 a D.6.2.1(3), teniendo en cuenta lo establecido en este DB-SE

D.6.2.2 Evaluación detallada

- 1 Una estructura, un elemento estructural o una unión entre elementos tiene una capacidad portante adecuada para el periodo de servicio restante si para las situaciones de dimensionado consideradas se cumple la condición:

$$E_{d,act} \leq R_{d,act} \quad (D.2)$$

siendo

$E_{d,act}$ valor de cálculo del efecto de las acciones, determinado con modelos particularizados para la estructura evaluada

$R_{d,act}$ valor de cálculo de la resistencia correspondiente, determinado con modelos particularizados para la estructura evaluada

- 2 El valor de cálculo del efecto de las acciones se determinará según las indicaciones de D.6.2.1(2). Para los coeficientes parciales para las acciones se tendrán en cuenta valores particularizados para la estructura evaluada (D.6.2.2(4)).
- 3 El valor de cálculo de la resistencia se determinará según las indicaciones de D.6.2.1(3). Para los coeficientes parciales para la resistencia se tendrán en cuenta valores particularizados para la estructura evaluada (D.6.2.2(4)).
- 4 Los coeficientes parciales particularizados respectivamente para las acciones y para la resistencia tendrán en cuenta la influencia de los cambios –debidos a la adquisición de información– en las incertidumbres asociadas con las variables. Los coeficientes parciales particularizados se calibrarán para que sean consistentes con el nivel requerido de fiabilidad estructural. Normalmente serán menos conservadores que los coeficientes correspondientes según los básicos correspondientes para el dimensionado de estructuras de nueva construcción.
- 5 La verificación de la estabilidad del conjunto de una estructura, o de la seguridad frente a la rotura del terreno se realizará por analogía con la verificación de la capacidad portante según D.6.2.2(1) a D.6.2.2(4).

D.6.2.3 Evaluación con métodos probabilistas

Fiabilidad requerida

- 1 La seguridad de una estructura podrá cuantificarse en términos de su fiabilidad que tendrá en cuenta las incertidumbres asociadas con las distintas variables básicas. La fiabilidad de una estructura o de un elemento estructural se representará a través de una probabilidad de fallo.
- 2 En el estado actual de los conocimientos no es posible definir un valor único para la probabilidad de fallo admisible de una estructura o de un elemento estructural. Este valor varía de un caso a otro, y se podrá deducir según D.6.2.3(3)
- 3 Una estructura correctamente dimensionada y construida según un conjunto consistente de reglas para la determinación de su resistencia y de las acciones, correspondientes al estado de la práctica en un determinado momento, se considerará fiable en este momento y en el marco de dichas reglas.

Verificación

- 4 La evaluación de una estructura existente con métodos probabilistas de acuerdo con D.6.2.3(3) requerirá los siguientes pasos:
 - a) Dimensionado de la estructura a evaluar según un conjunto consistente de normas de acciones y de resistencia que estén en vigor. El dimensionado será el estricto, de manera que resulte

$$E_d = R_d$$
 siendo

$$E_d \quad \text{valor de cálculo del efecto de las acciones según la normativa en vigor}$$

$$R_d \quad \text{valor de cálculo de la resistencia correspondiente según la normativa en vigor}$$
 - b) Determinación de la probabilidad de fallo de la estructura dimensionada en el primer paso. A estos efectos se considerarán para las variables básicas los parámetros que están detrás de las especificaciones de las normas empleadas. La probabilidad de fallo así obtenida es la probabilidad de fallo admisible según las normas empleadas, $p_{f,0}$.
 - c) Determinación de la probabilidad de fallo de la estructura a evaluar, p_f . A estos efectos se emplean los parámetros actualizados de las variables que intervienen en los cálculos.
- 5 La estructura evaluada tiene una fiabilidad adecuada si se cumple la siguiente condición

$$p_f \leq p_{f,0} \quad (D.3)$$

siendo

p_f probabilidad de fallo de la estructura evaluada
 $p_{f,0}$ probabilidad de fallo admisible

D.6.3 Verificación de la aptitud al servicio

- 1 Una estructura o un elemento estructural tiene un comportamiento adecuado –en relación con un determinado criterio– para el periodo de servicio restante si para las situaciones de dimensionado consideradas se cumple la condición:

$$E_{ser} \leq C_{lim} \quad (D.4)$$
 siendo

$$E_{ser} \quad \text{efecto de las acciones}$$

$$C_{lim} \quad \text{valor límite para el mismo efecto}$$
- 2 Los efectos de las acciones se determinarán de acuerdo con los objetivos establecidos de la evaluación (D.3.2), teniendo en cuenta los valores representativos actualizados de las acciones y de todas las influencias relevantes, así como la información actualizada sobre la estructura. En ausencia de acuerdos específicos, estos efectos se determinarán según el apartado 4.3.3.
- 3 Los valores límite para los distintos efectos de las acciones deben estar en concordancia con el objetivo de cada verificación y se determinarán para cada caso (D.3.2). En ausencia de acuerdos específicos, se adoptarán como valores límite los valores nominales según 4.3.4, así como los valores contenidos en los documentos básicos de seguridad estructural de los diferentes materiales.
- 4 La verificación de la aptitud al servicio se podrá llevar a cabo utilizando métodos probabilistas de cálculo. A estos efectos se deberán emplear los parámetros actualizados de las variables que intervienen en los cálculos (D.4.7.2).

D.6.4 Verificación de la seguridad frente a fatiga

- 1 La verificación de la seguridad frente a la fatiga se llevará a cabo según las especificaciones indicadas en 4.4.2.
- 2 En la verificación de la seguridad frente a la fatiga se tendrán en cuenta tanto la historia de cargas en el pasado, como el periodo de servicio restante.

D.7 Evaluación cualitativa de una estructura

D.7.1 Capacidad portante

- 1 Una estructura que haya sido dimensionada y construida de acuerdo con las reglas de normas antiguas, tendrá normalmente una capacidad portante adecuada, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:
 - a) la estructura se haya usado durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se hayan producido daños o anomalías (desplazamientos, deformaciones, fisuras, corrosión, etc.);
 - b) una inspección detallada y cuidadosa no revele ningún indicio de daños o deterioro;
 - c) la revisión del sistema estructural permita asegurar una adecuada transmisión de las fuerzas, particularmente a través de los detalles críticos;
 - d) teniendo en cuenta el deterioro previsible así como el programa de mantenimiento previsto se pueda anticipar una adecuada durabilidad;
 - e) durante un periodo de tiempo suficientemente largo no se hayan producido cambios que pudieran haber incrementado las acciones sobre la estructura o haber afectado su durabilidad;
 - f) durante el periodo de servicio restante no se prevean cambios que pudieran incrementar las acciones sobre la estructura (por ejemplo debido a un cambio de uso, etc.) o afectar su durabilidad de manera significativa.
- 2 La evaluación cualitativa de la capacidad portante de una estructura se basa en investigaciones del tipo mencionado en D.3.1(2) y D.3.1.3(1) en la apreciación de un técnico cualificado y en experiencias adquiridas en relación con estructuras comparables. Sobre estas bases deben determinarse las posibles medidas complementarias (D.8.2 y D.8.3) y estimar el periodo de servicio restante.
- 3 Una evaluación cualitativa de la capacidad portante de una estructura existente puede ser insuficiente para situaciones de dimensionado extraordinarias (3.2).
- 4 El comportamiento de una estructura evaluada cualitativamente se controlará periódicamente durante el periodo de servicio restante. Para ello se emplearán los medios que se estimen necesarios, dependiendo de las características de la estructura, así como de las acciones e influencias que actúen sobre ella y de su estado.

D.7.2 Aptitud al servicio

- 1 Una estructura que haya sido dimensionada y construida de acuerdo con las reglas de normas antiguas podrá considerarse apta para el servicio, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:
 - a) la estructura se haya comportado satisfactoriamente durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se hayan producido daños o anomalías, y sin que se hayan producido deformaciones o vibraciones excesivas;
 - b) una inspección detallada y cuidadosa, no revele ningún indicio de daños o deterioro, ni de deformaciones, desplazamientos o vibraciones excesivas;
 - c) durante el periodo de servicio restante no se prevean cambios de la estructura ni tampoco otros cambios que pudieran alterar significativamente las acciones sobre la estructura o afectar su durabilidad;
 - d) teniendo en cuenta el deterioro previsible así como el programa de mantenimiento previsto se pueda anticipar una adecuada durabilidad.

D.8 Intervenciones

D.8.1 Aseguramiento de la estructura

- 1 En el momento en el que la evaluación según los apartados D.3.1 y D.3.4 así lo aconseje, se adoptarán medidas de aseguramiento de la estructura. Eso es particularmente necesario en los casos en los que resulte imposible demostrar una fiabilidad adecuada incluso según el apartado D.6.2.3.
- 2 Medidas de aseguramiento de la estructura pueden ser, por ejemplo:
 - a) limitación del uso de la estructura;

- b) medidas constructivas tales como el apeo provisional de elementos estructurales;
- c) puesta fuera de servicio y cierre de la obra;
- d) evacuación de las zonas que pudieran estar afectadas por un posible derrumbe.

D.8.2 Medidas técnico – administrativas

- 1 En función de los resultados obtenidos en una evaluación, puede resultar adecuada la adopción de medidas técnico – administrativas (apartados 3.1 y 3.5). Las medidas de este tipo se determinarán para cada caso, teniendo en cuenta los siguientes criterios:
 - a) la importancia de la obra;
 - b) el nivel de riesgos para las personas o para el medio ambiente;
 - c) modo de rotura previsible (dúctil o frágil);
 - d) posibilidades de control del comportamiento estructural;
 - e) posibilidades de control de la utilización;
 - f) posibilidades de la limitación de los daños;
 - g) consideraciones del tipo coste – riesgo.
- 2 Medidas técnico – administrativas pueden ser, por ejemplo:
 - a) control permanente o periódico del comportamiento estructural;
 - b) control permanente o periódico de las condiciones de utilización, en su caso en combinación con una limitación de la utilización de la estructura;
 - c) instalación de dispositivos automáticos de aviso o de control activo;
 - d) puesta a punto de un dispositivo de alarma;
 - e) puesta a punto de medidas de emergencia;
 - f) introducción de esquemas de evacuación;
 - g) aceptación de ciertos riesgos según acuerdo.

D.8.3 Medidas constructivas

- 1 Según los resultados de una evaluación, la adopción de medidas constructivas puede resultar imprescindible (apartado D.5). Un incremento de la fiabilidad estructural, incluso en caso de situaciones extraordinarias, puede obtenerse mediante:
 - a) incremento o reducción de la resistencia de elementos o de secciones;
 - b) incremento de la capacidad de deformación;
 - c) incremento o reducción de la rigidez;
 - d) incremento o reducción de la masa;
 - e) instalación de amortiguadores;
 - f) cambio del sistema estático.
- 2 Los elementos de refuerzo de una estructura se dimensionarán según las especificaciones de los documentos para el dimensionado de estructuras de nueva construcción. Alternativamente, las verificaciones relativas a los elementos de refuerzo se podrán basar en una aplicación directa de los métodos de análisis de la fiabilidad.
- 3 La verificación de la capacidad portante de los elementos reforzados se realizará aplicando las reglas de los documentos para el dimensionado de estructuras de nueva construcción. Alternativamente, esta verificación se podrá basar en una aplicación directa de los métodos de análisis de fiabilidad.

D.9 Decisión

- 1 La decisión final sobre las medidas a adoptar –en caso de que resulte imposible verificar una capacidad portante o una aptitud al servicio adecuadas– se basará en toda la información disponible, en las recomendaciones contenidas en el informe (3.1(17)), así como en criterios de buena práctica. Esta decisión corresponde a la propiedad que la tomará en colaboración con los responsables de la evaluación, y en su caso con la autoridad competente.

- 2 Un cambio de uso o una alteración de la obra posteriores a la evaluación invalidará las recomendaciones contenidas en el informe.