

Junio 2003

### TÍTULO

**Eurocódigos**

**Bases de cálculo de estructuras**

*Eurocode. Basis of structural design.*

*Eurocodes structureaux. Eurocodes: Bases de calcul des structures.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1990 de abril de 2002.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-ENV 1991-1 de octubre de 1997

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos Estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.



Versión en español

## **Eurocódigos**

### **Bases de cálculo de estructuras**

**Eurocode. Basis of structural design.**

**Eurocodes structuraux. Eurocodes: Bases  
de calcul des structures.**

**Eurocode: Grundlagen der  
Tragwerksplanung.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2001-11-29. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en la Secretaría Central de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada a la Secretaría Central, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**SECRETARÍA CENTRAL: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

## ÍNDICE

	Página
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>8</b>
Antecedentes del programa de los Eurocódigos .....	9
Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos.....	9
Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos.....	10
Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITEs) de productos .....	10
Información adicional específica de la Norma EN 1990 .....	11
El anexo nacional de la Norma EN 1990 .....	11
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES</b>	
1.1 Campo de aplicación.....	12
1.2 Normas para consulta .....	12
1.3 Consideraciones.....	12
1.4 Distinción entre Principios y Reglas de aplicación.....	13
1.5 Términos y definiciones .....	13
1.5.1 Términos comunes utilizados desde la Norma EN 1990 hasta la Norma EN 1999.....	14
1.5.2 Términos especiales relacionados con el cálculo en general .....	14
1.5.3 Términos relacionados con las acciones .....	16
1.5.4 Términos relacionados con propiedades de materiales y de productos.....	17
1.5.5 Términos relacionados con los datos geométricos .....	18
1.5.6 Términos relacionados con el análisis estructural.....	18
1.6 Símbolos .....	19
<b>CAPÍTULO 2 REQUISITOS</b>	
2.1 Requisitos fundamentales .....	22
2.2 Gestión de la fiabilidad .....	23
2.3 Vida útil de cálculo.....	24
2.4 Durabilidad.....	25
2.5 Gestión de la calidad .....	25
<b>CAPÍTULO 3 PRINCIPIOS DE CÁLCULO EN ESTADOS LÍMITE</b>	
3.1 Generalidades .....	25
3.2 Situaciones de proyecto .....	26
3.3 Estados límite últimos .....	26
3.4 Estados límite de servicio.....	27
3.5 Cálculo en estados límite .....	28

## CAPÍTULO 4 VARIABLES FUNDAMENTALES

4.1	Acciones y condicionantes medioambientales.....	28
4.1.1	Clasificación de las acciones.....	28
4.1.2	Valores característicos de la acciones.....	29
4.1.3	Otros valores representativos de las acciones variables .....	30
4.1.4	Representación de las acciones de fatiga.....	30
4.1.5	Representación de las acciones dinámicas .....	31
4.1.6	Acciones geotécnicas .....	31
4.1.7	Influencias ambientales .....	31
4.2	Propiedades de materiales y productos .....	31
4.3	Datos geométricos .....	32

## CAPÍTULO 5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CÁLCULO ASISTIDO CON ENSAYOS

5.1	Análisis estructural .....	32
5.1.1	Modelización estructural.....	32
5.1.2	Acciones estáticas .....	33
5.1.3	Acciones dinámicas .....	33
5.1.4	Análisis estructural en caso de fuego.....	34
5.2	Cálculo asistido por ensayos.....	34

## CAPÍTULO 6 VERIFICACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS COEFICIENTES PARCIALES

6.1	Generalidades .....	35
6.2	Limitaciones.....	35
6.3	Valores de cálculo.....	35
6.3.1	Valores de cálculo de las acciones.....	35
6.3.2	Valores de cálculo de los efectos de las acciones.....	36
6.3.3	Valores de cálculo de las propiedades de materiales o productos .....	36
6.3.4	Valores de cálculo de los datos geométricos.....	37
6.3.5	Resistencia de cálculo.....	38
6.4	Estados límite últimos .....	39
6.4.1	Generalidades .....	39
6.4.2	Verificaciones del equilibrio estático y de la resistencia .....	39
6.4.3	Combinación de acciones (excluidas las verificaciones a fatiga) .....	40
6.4.3.1	Generalidades .....	40
6.4.3.2	Combinaciones de acciones para situaciones permanentes y transitorias (combinaciones fundamentales).....	40
6.4.3.3	Combinaciones de acciones para situaciones de proyecto accidentales.....	41
6.4.3.4	Combinaciones de acciones para situaciones de proyecto sísmicas .....	41
6.4.4	Coefficientes parciales de las acciones y las combinaciones de acciones.....	42

	Página
6.4.5 Coeficientes parciales de los materiales y productos.....	42
6.5 Estados límite de servicio.....	42
6.5.1 Verificaciones .....	42
6.5.2 Criterios de aptitud al servicio.....	42
6.5.3 Combinación de acciones.....	42
6.5.4 Coeficientes parciales de los materiales.....	43
<b>ANEXO A.1 (Normativo) APLICACIÓN A EDIFICIOS .....</b>	<b>44</b>
A.1.1 Campo de aplicación.....	44
A.1.2 Combinaciones de acciones .....	44
A.1.2.1 Generalidades .....	44
A.1.2.2 Valores de los coeficientes $\psi$ .....	44
A.1.3 Estados límite últimos .....	45
A.1.3.1 Valores de cálculo de las acciones en situaciones de proyecto permanentes y transitorias .....	45
A.1.3.2 Valores de cálculo de las acciones en situaciones de proyecto accidentales y sísmicas .....	48
A.1.4 Estados límite de servicio.....	48
A.1.4.1 Coeficientes parciales de las acciones .....	48
A.1.4.2 Criterios de aptitud al servicio.....	49
A.1.4.3 Deformaciones y desplazamientos horizontales.....	49
A.1.4.4 Vibraciones .....	51
<b>ANEXO B (Informativo) GESTIÓN DE LA FIABILIDAD ESTRUCTURAL EN LAS CONSTRUCCIONES.....</b>	<b>52</b>
B.1 Objeto y campo de aplicación .....	52
B.2 Símbolos .....	52
B.3 Diferenciación de la fiabilidad .....	52
B.3.1 Clases de consecuencias .....	52
B.3.2 Diferenciación mediante los valores $\beta$ .....	53
B.3.3 Diferenciación mediante medidas relacionadas con los coeficientes parciales .....	54
B.4 Diferenciación mediante la supervisión del proyecto.....	54
B.5 Inspección durante la ejecución .....	55
B.6 Coeficientes parciales de las propiedades de resistencia.....	56
<b>ANEXO C (Informativo) BASES PARA EL CÁLCULO CON COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD Y ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD .....</b>	<b>57</b>
C.1 Objeto y campo de aplicación .....	57
C.2 Símbolos .....	57
C.3 Introducción .....	58
C.4 Revisión de los métodos de fiabilidad .....	58
C.5 Índice de fiabilidad $\beta$ .....	59

	Página
C.6	Valores objetivo del índice de fiabilidad $\beta$ ..... 60
C.7	Aproximación a la calibración de los valores de cálculo..... 61
C.8	Formatos de verificación de la fiabilidad en los Eurocódigos ..... 63
C.9	Coefficientes parciales en la Norma EN 1990 ..... 64
C.10	Coefficientes $\psi_0$ ..... 65
<b>ANEXO D (Informativo) CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS ..... 67</b>	
D.1	Objeto y campo de aplicación ..... 67
D.2	Símbolos ..... 67
D.3	Tipos de ensayos ..... 69
D.4	Planificación de los ensayos ..... 69
D.5	Deducción de los valores de cálculo ..... 71
D.6	Principios generales para evaluaciones estadísticas ..... 72
D.7	Determinación estadística de una propiedad ..... 73
D.7.1	Generalidades ..... 73
D.7.2	Evaluación mediante el valor característico ..... 73
D.7.3	Evaluación directa del valor de cálculo para verificaciones del estado límite último ..... 75
D.8	Determinación estadística de modelos de resistencia ..... 75
D.8.1	Generalidades ..... 75
D.8.2	Procedimiento de evaluación normalizado (Método (a))..... 76
D.8.2.1	Generalidades ..... 76
D.8.2.2	Procedimiento normalizado ..... 76
D.8.3	Procedimiento de evaluación normalizado (Método (b))..... 80
D.8.4	Uso de información previa adicional ..... 80
<b>BIBLIOGRAFÍA..... 82</b>	

## ANTECEDENTES

Esta Norma Europea EN 1990:2002 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de octubre de 2002, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de marzo de 2010.

Este documento sustituye a la Norma ENV 1991-1:1994.

CEN/TC 250 es responsable de todos los Eurocódigos estructurales

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.



## Antecedentes del programa de los Eurocódigos

En 1975, la Comisión de las Comunidades Europeas decidió llevar a cabo un programa de actuación en el campo de la construcción, basado en el artículo 95 del Tratado. El objetivo de este programa era la eliminación de las barreras técnicas al comercio y la armonización de las especificaciones técnicas.

Dentro de este programa de actuación, la Comisión tomó la iniciativa de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el proyecto de las construcciones que, en una primera etapa, sirviera como alternativa a las reglas nacionales en vigor en los Estados Miembro y, finalmente, las pudiera reemplazar.

Durante quince años, la Comisión, con la ayuda de un Comité Director con representantes de los Estados Miembro, condujo el desarrollo del programa de los Eurocódigos, lo que llevó en los años 80 a la primera generación de códigos europeos.

En 1989, los Estados miembro de la UE y de la AELC decidieron, sobre la base de un acuerdo<sup>1)</sup> entre la Comisión y el CEN, transferir al CEN la preparación y publicación de los Eurocódigos mediante una serie de Mandatos, con el fin de dotarlos de un futuro estatus de Norma Europea (EN). Esto vincula *de facto* los Eurocódigos con las disposiciones de todas las Directivas del Consejo y Decisiones de la Comisión que hacen referencia a las normas europeas (por ejemplo, la Directiva del consejo 89/106/CEE sobre productos de construcción - DPC - y las Directivas del Consejo 93/37/CEE, 92/50/CEE y 89/440/CEE sobre obras públicas y servicios y las Directivas de la AELC equivalentes iniciadas para conseguir la implantación del mercado interior).

El programa Eurocódigos Estructurales comprende las siguientes normas, compuestas generalmente de diversas Partes:

EN 1990	Eurocódigo:	Bases para el cálculo de estructuras
EN 1991	Eurocódigo 1:	Acciones en estructuras
EN 1992	Eurocódigo 2:	Proyecto de estructuras de hormigón
EN 1993	Eurocódigo 3:	Proyecto de estructuras de acero
EN 1994	Eurocódigo 4:	Proyecto de estructuras mixtas
EN 1995	Eurocódigo 5:	Proyecto de estructuras de madera
EN 1996	Eurocódigo 6:	Proyecto de estructuras de fábrica
EN 1997	Eurocódigo 7:	Proyecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8:	Proyecto de estructuras sismorresistentes
EN 1999	Eurocódigo 9:	Proyecto de estructuras de aluminio

Las normas Eurocódigos reconocen la responsabilidad de las autoridades reglamentadoras de cada Estado Miembro y han salvaguardado su derecho a determinar en el ámbito nacional los valores relacionados con temas reglamentarios de seguridad cuando éstos siguen siendo distintos de un Estado a otro.

## Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos

Los Estados miembro de la UE y de la AELC reconocen que los Eurocódigos sirven como documentos de referencia para los siguientes propósitos:

- como medio para demostrar el cumplimiento de las obras de edificación y de ingeniería civil con los requisitos esenciales de la Directiva del Consejo 89/106/CEE, en particular con el Requisito Esencial nº 1 - Resistencia mecánica y estabilidad - y con el Requisito Esencial nº 2 - Seguridad en caso de incendio;
- como base para especificar los contratos de las construcciones y de los servicios de ingeniería correspondientes;
- como marco para redactar las especificaciones técnicas armonizadas de productos de construcción (ENs y DITEs).

1) Acuerdo entre la Comisión de las Comunidades Europeas y el Comité Europeo de Normalización (CEN) referente al trabajo sobre los EUROCÓDIGOS para el proyecto de edificios y de obras de ingeniería civil. (BC/CEN/03/89).

Los Eurocódigos, en tanto en cuanto los mismos están relacionados con las construcciones, tienen una relación directa con los Documentos Interpretativos<sup>2)</sup> a los que hace referencia el artículo 12 de la DPC, aunque son de distinta naturaleza que las normas armonizadas de producto<sup>3)</sup>. Por ello, los Comités Técnicos del CEN y/o los Grupos de Trabajo de la EOTA que trabajen sobre normas de producto deben considerar adecuadamente los aspectos técnicos que surjan del trabajo de los Eurocódigos, con vistas a obtener la compatibilidad total entre estas especificaciones técnicas y los Eurocódigos.

Las normas Eurocódigos dan reglas comunes de cálculo estructural para su uso diario en el proyecto de estructuras completas y de productos componentes de naturaleza tanto tradicional como innovadora. Las formas de construcción y condiciones de cálculo poco usuales no quedan cubiertas específicamente y requerirán, en tales casos, es estudio adicional del proyectista.

### **Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos**

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos comprenderán el texto completo del Eurocódigo (incluyendo los anexos), tal y como se publique por el CEN, pudiendo venir precedido de una portada nacional y de un preámbulo nacional y terminado en un anexo nacional.

El anexo nacional sólo puede contener información sobre aquellos parámetros que queden abiertos en los Eurocódigos para la elección de una opción nacional, conocidos como Parámetros de Determinación Nacional, para su empleo en el proyecto de edificios y obras de ingeniería civil a construir en el país correspondiente, es decir:

- los valores y/o las clases cuando se ofrezcan alternativas en el Eurocódigo;
- los valores a emplear cuando sólo se dé un símbolo en el Eurocódigo;
- los datos específicos del país (geográficos, climatológicos, etc.), por ejemplo, el mapa de nieve;
- el procedimiento a emplear cuando los Eurocódigos ofrezcan procedimientos alternativos.

También puede contener:

- decisiones sobre la aplicación de los anexos informativos;
- referencia a información complementaria no contradictoria que ayude al usuario a aplicar el Eurocódigo.

### **Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITEs) de productos**

Hay una necesidad de consistencia entre las especificaciones técnicas armonizadas de producto y las reglas técnicas de las obras<sup>4)</sup>. Aún más, toda la información que acompañe al marcado CE de los productos de construcción que se refiera a los Eurocódigos debería mencionar con claridad qué Parámetros de Determinación Nacional se han tenido en cuenta.

---

2) De acuerdo con el artículo 3.3 de la DPC, los documentos interpretativos darán forma concreta a los requisitos esenciales (REs) con el fin de establecer los vínculos necesarios entre los requisitos esenciales y los mandatos para la elaboración de normas armonizadas y DITEs/Guías de DITEs.

3) De acuerdo con el artículo 12 de la DPC los documentos interpretativos deben:

- a) dar forma concreta a los requisitos esenciales mediante la armonización de la terminología y de las bases técnicas y la asignación, en su caso, de clases y niveles para cada requisito esencial;
- b) indicar los métodos para relacionar estas clases y niveles con las especificaciones técnicas, por ejemplo, métodos de cálculo y de prueba, reglas técnicas para el cálculo en proyectos, etc.;
- c) servir de referencia para el establecimiento de normas armonizadas y de guías para los Documentos de Idoneidad Técnica Europeos.

Los Eurocódigos, de facto, juegan un papel similar en el campo del requisito esencial 1 y en parte del RE2.

4) Véanse los artículos 3.3 y 12 de la DPC, así como los apartados 4.2, 4.3.1, 4.3.2 y 5.2 del Documento Interpretativo nº 1.

### **Información adicional específica de la Norma EN 1990**

La Norma EN 1990 describe los Principios y requisitos de seguridad, aptitud al servicio y durabilidad de las estructuras. Se basa en el concepto de estado límite empleado conjuntamente con un método de coeficientes parciales.

La Norma EN 1990 está concebida para ser utilizada, para su aplicación directa, junto a los Eurocódigos EN 1991 a EN 1999 para el cálculo de estructuras nuevas.

La Norma EN 1990 también da consejos para aquellos aspectos de fiabilidad estructural relacionados con la seguridad, la aptitud al servicio y la durabilidad:

- para casos de cálculo que no queden cubiertos por las Normas EN 1991, etc. hasta la Norma EN 1999 (otras acciones, estructuras no contempladas, otros materiales);
- para servir como documento de referencia para otros comités técnicos del CEN que contemplen temas estructurales.

La Norma EN 1990 está prevista para ser utilizada por:

- los comités que preparen borradores de normas de cálculo estructural y las correspondientes normas de productos, ensayos y ejecución;
- los autores de encargos (por ejemplo, para la formulación de sus requisitos específicos sobre los niveles de fiabilidad y la durabilidad);
- los proyectistas y constructores;
- las autoridades correspondientes.

La Norma EN 1990 puede utilizarse, si se considera oportuno, como un documento de guía para el cálculo de estructuras fuera del campo de aplicación de los Eurocódigos EN 1991 a EN 1999, para:

- valorar otras acciones y sus combinaciones;
- establecer modelos de comportamiento de la estructura y de los materiales;
- comprobar los valores numéricos del formato de fiabilidad.

Los valores numéricos de los coeficientes parciales y de otros parámetros de fiabilidad se recomiendan como valores básicos que suministran un nivel de fiabilidad aceptable. Han sido seleccionados asumiendo que se da un nivel apropiado de mano de obra y de gestión de la calidad. Cuando otros CTs del CEN utilicen la Norma EN 1990 como documento base se tienen que emplear los mismos valores.

### **El anexo nacional de la Norma EN 1990**

Esta norma ofrece procedimientos alternativos, valores y recomendaciones en cuanto a clases, con notas indicando donde hay que introducir los parámetros nacionales, por lo que la norma nacional de adopción de la Norma EN 1990 debería tener un anexo nacional que contenga todos los Parámetros de Determinación Nacional a emplear en el proyecto de edificios y obras de ingeniería civil a construir en el país correspondiente.

En la Norma EN 1990 se permite la elección de opciones nacionales en los apartados siguientes:

- A.1.1(1)
- A.1.2.1(1)
- A.1.2.2 (tabla A.1.1)
- A.1.3.1(1) (tablas A.1.2(A) a (C))
- A.1.3.1(5)
- A.1.3.2 (tabla A.1.3)
- A.1.4.2(2)

## CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

### 1.1 Campo de aplicación

(1) La Norma EN 1990 establece los Principios y requisitos de seguridad, aptitud al servicio y durabilidad de las estructuras, establece las bases para su cálculo y verificación y da consejos sobre aspectos relacionados con la fiabilidad estructural.

(2) La Norma EN 1990 está concebida para ser utilizada junto con los Eurocódigos EN 1991 a EN 1999 para el proyecto estructural de edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo los aspectos geotécnicos, la resistencia en caso de incendio, las situaciones sísmicas, la ejecución y las estructuras temporales.

NOTA – Para el cálculo de construcciones especiales (por ejemplo, instalaciones nucleares, presas, etc.), puede resultar necesario emplear disposiciones distintas a las de las Normas EN 1991, etc. hasta la Norma EN 1999.

(3) La Norma EN 1990 es aplicable al cálculo de estructuras en las que se empleen materiales y acciones fuera de los campos de aplicación de las Normas EN 1991, etc. hasta la Norma EN 1999.

(4) La Norma EN 1990 es aplicable a la evaluación estructural de construcciones existentes, al desarrollo del cálculo de reparaciones o a la comprobación de cambios de uso.

NOTA – Puede ser necesario, en casos específicos, disponer de disposiciones adicionales o revisadas.

### 1.2 Normas para consulta

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo sus modificaciones).

NOTA 1 – Los Eurocódigos fueron publicados como normas experimentales. Las siguientes normas europeas ya publicadas o en preparación son citadas in párrafos normativos:

EN 1991	Eurocódigo 1:	Acciones en estructuras
EN 1992	Eurocódigo 2:	Proyecto de estructuras de hormigón
EN 1993	Eurocódigo 3:	Proyecto de estructuras de acero
EN 1994	Eurocódigo 4:	Proyecto de estructuras mixtas
EN 1995	Eurocódigo 5:	Proyecto de estructuras de madera
EN 1996	Eurocódigo 6:	Proyecto de estructuras de fábrica
EN 1997	Eurocódigo 7:	Proyecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8:	Proyecto de estructuras sismorresistentes
EN 1999	Eurocódigo 9:	Proyecto de estructuras de aluminio

### 1.3 Consideraciones

(1) Los procedimientos de cálculo que utilicen los Principios y Reglas de aplicación se consideran que cumplen los requisitos siempre y cuando se satisfagan las consideraciones dadas en las Normas EN 1990, etc. hasta la Norma EN 1999 (véase el capítulo 2).

(2) Las consideraciones de carácter general asumidas en la Norma EN 1990 son:

- que la elección del sistema estructural y del procedimiento de cálculo de la estructura ha sido hecha por personal debidamente cualificado y experimentado;
- que la ejecución se lleva a cabo por personal que tenga la debida habilidad y experiencia;
- que durante la ejecución de la obra se dispone de la adecuada supervisión y control de calidad, es decir, en oficinas de proyectos, fábricas, plantas y en la obra;
- que los materiales y productos de construcción se usan según se indica en la Norma EN 1990 o en las Normas EN 1991, etc., hasta la Norma EN 1999 o en las correspondientes normas de ejecución o las especificaciones de materiales o productos de referencia;
- que la estructura se va a mantener adecuadamente;
- que la estructura será utilizada de acuerdo con las consideraciones de cálculo asumidas.

NOTA – Pueden darse casos en que las consideraciones expuestas anteriormente deban ser suplementadas.

#### **1.4 Distinción entre Principios y Reglas de aplicación**

(1) Dependiendo del carácter de cada párrafo en particular, esta Parte de la norma distingue entre Principios y Reglas de Aplicación.

(2) Los Principios comprenden:

- afirmaciones generales y definiciones para las que no hay alternativas, así como;
- requisitos y modelos analíticos para los que no se permiten alternativos a no ser que se indique específicamente.

(3) Los Principios se identifican con la letra P precedida por el número de apartado.

(4) Las Reglas de Aplicación son generalmente reglas reconocidas que se adecuan a los Principios y satisfacen sus requisitos.

(5) Se permite el uso de reglas de cálculo alternativas diferentes a las Reglas de Aplicación dadas para las obras en la Norma EN 1990, siempre y cuando quede demostrado que las reglas alternativas son acordes con los Principios y son como mínimo equivalentes con respecto a la seguridad estructural, a la aptitud al servicio y a la durabilidad que podrían esperarse empleando los Eurocódigos.

NOTA – Si se sustituye una Regla de Aplicación por una regla de cálculo alternativa, no se puede decir que el diseño resultante sea totalmente conforme con la Norma EN 1990 aunque el diseño se mantenga conforme con los Principios de la Norma EN 1990. Cuando se emplee la Norma EN 1990 con respecto a una de las propiedades listadas en el anexo Z de una norma de producto o un DITE, no es aceptable que para el marcado CE del producto se emplee una regla de cálculo alternativa.

(6) En la Norma EN 1990, las Reglas de Aplicación se identifican por un número entre paréntesis de apartado como, por ejemplo, en este apartado.

#### **1.5 Términos y definiciones**

NOTA – A los efectos de esta norma europea, son de aplicación los términos y definiciones dados en las Normas ISO 2394, ISO 3898, ISO 8930 e ISO 8402.

### 1.5.1 Términos comunes utilizados desde la Norma EN 1990 hasta la Norma EN 1999

**1.5.1.1 construcciones:** Todo lo que es construido o resultado de operaciones de construcción.

NOTA — Esta definición está de acuerdo con la Norma ISO 6707-1. El término abarca tanto los edificios como las obras de ingeniería civil. Se refiere a los trabajos de construcción completos comprendiendo elementos estructurales, no estructurales y geotécnicos.

**1.5.1.2 tipo de edificio o de obra de ingeniería civil:** Tipos de construcciones con designación de su función prevista, por ejemplo, vivienda, muro de contención, edificio industrial, puente de carretera.

**1.5.1.3 tipo de construcción:** Indicación del material estructural principal, por ejemplo, construcción de hormigón armado, construcción de acero, construcción de madera, construcción de fábrica de albañilería, construcción mixta de acero y hormigón.

**1.5.1.4 método constructivo:** Manera en que se va a llevar a cabo la ejecución, por ejemplo, hormigonada *in situ*, prefabricada, en ménsula.

**1.5.1.5 material de construcción:** Material utilizado en construcciones, por ejemplo, hormigón, acero, madera, fábrica de albañilería.

**1.5.1.6 estructura:** Organización combinada de partes conectadas proyectadas para soportar cargas y suministrar la rigidez adecuada.

**1.5.1.7 elemento estructural:** Parte físicamente distinguible de una estructura, por ejemplo, un pilar, una viga, una losa, un pilote de cimentación.

**1.5.1.8 forma de estructura:** Disposición de los elementos estructurales.

NOTA — Una forma de estructura es, por ejemplo, pórticos, puente de tablero suspendido.

**1.5.1.9 sistema estructural:** Elementos portantes de un edificio o una obra de ingeniería civil y la forma en que estos elementos funcionan juntos.

**1.5.1.10 modelo estructural:** Idealización de un sistema estructural utilizado con fines analíticos, de cálculo y de verificación.

**1.5.1.11 ejecución:** Todas las actividades llevadas a cabo para completar físicamente la obra, incluidas las tareas administrativas, la inspección y la documentación derivadas de las mismas.

NOTA — El término comprende el trabajo *in situ*; puede también significar la fabricación de componentes fuera de la obra y su posterior colocación en la obra.

### 1.5.2 Términos especiales relacionados con el cálculo en general

**1.5.2.1 criterios de cálculo:** Formulación cuantitativa que describe para cada estado límite las condiciones que se deben cumplir.

**1.5.2.2 situaciones de proyecto:** Conjunto de condiciones físicas que representan las condiciones reales que tienen lugar durante un cierto intervalo de tiempo para las que el cálculo tiene que demostrar que los estados límite correspondientes no son superados.

**1.5.2.3 situación de proyecto transitoria:** Situación de proyecto que se da durante un periodo de tiempo más corto que el tiempo de vida útil de la estructura y que tiene una probabilidad alta de que ocurra.

NOTA — Una situación de proyecto transitoria se refiere a condiciones temporales de la estructura, de uso, de exposición, por ejemplo, durante la construcción o reparación.

**1.5.2.4 situación de proyecto persistente:** Situación de proyecto que se da durante un periodo de tiempo del mismo orden que el de la vida útil del edificio.

NOTA — Normalmente se refiere a condiciones de uso normal.

**1.5.2.5 situación de proyecto accidental:** Situación de proyecto que comprende condiciones excepcionales de la estructura o de su exposición, incluyendo incendio, explosión, impacto o fallo local.

**1.5.2.6 cálculo a fuego en caso de incendio:** Cálculo de una estructura para que satisfaga las prestaciones exigidas en caso de incendio.

**1.5.2.7 situación de proyecto sísmica:** Situación de proyecto que comprende condiciones excepcionales de la estructura al estar sometida a un sismo.

**1.5.2.8 vida útil de cálculo:** Periodo durante el cual se supone que una estructura o parte de la misma va a ser utilizada para el fin deseado, previendo su mantenimiento pero sin ser necesaria ninguna reparación sustancial.

**1.5.2.9 peligro potencial:** A los efectos de las Normas EN 1990, etc., a la Norma EN 1999, un acontecimiento inusual y severo, por ejemplo, una acción o influencia ambiental anormal, resistencia insuficiente o desviación excesiva de las dimensiones previstas.

**1.5.2.10 disposición de la carga:** Posición, magnitud y dirección de una acción libre.

**1.5.2.11 hipótesis de carga:** Disposiciones de cargas compatibles; conjuntos de deformaciones e imperfecciones consideradas simultáneamente con acciones fijas variables y permanentes para una verificación concreta.

**1.5.2.12 estados límite:** Estados más allá de los cuales la estructura deja de satisfacer los criterios de proyecto correspondientes.

**1.5.2.13 estados límite últimos:** Estados asociados al colapso o a otras formas similares de fallo estructural.

NOTA — Suelen coincidir con la máxima resistencia de una estructura o de un elemento estructural.

**1.5.2.14 estados límite de servicio:** Estados que corresponden con condiciones más allá de las cuales no se cumplen los requisitos de aptitud al servicio especificados para una estructura o un elemento estructural.

**1.5.2.14.1 estados límite de servicio irreversibles:** Estados límite de servicio en que algunas de las consecuencias de las acciones que exceden los requisitos de aptitud al servicio permanecen cuando desaparecen las acciones.

**1.5.2.14.2 estados límite de servicio reversibles:** Estados límite de servicio en que ninguna consecuencia de las acciones que exceden los requisitos de aptitud al servicio permanece cuando desaparecen las acciones.

**1.5.2.14.3 criterio de aptitud al servicio:** Criterio de cálculo para un estado límite de servicio.

**1.5.2.15 capacidad portante:** Capacidad de un elemento, o componente, o de una sección transversal de un elemento o componente de una estructura de soportar acciones sin fallos mecánicos, por ejemplo, resistencia a la flexión, resistencia al pandeo, resistencia a la tracción.

**1.5.2.16 resistencia:** Propiedad mecánica de un material que indica su habilidad a resistir acciones, normalmente dadas en unidades de tensión.

**1.5.2.17 fiabilidad:** Habilidad de una estructura o de un elemento estructural para cumplir los requisitos especificados, incluyendo la vida útil de cálculo, para las que ha sido proyectado. La fiabilidad se expresa normalmente en términos probabilísticos.

NOTA — La fiabilidad comprende la seguridad, aptitud al servicio y durabilidad de una estructura.

**1.5.2.18 diferenciación de la fiabilidad:** Medidas dirigidas a la optimización socio-económica de los medios a emplear para ejecutar construcciones, teniendo en cuenta todas las consecuencias de fallo previsibles y el coste de las construcciones.

**1.5.2.19 variable básica:** Parte de un conjunto definido de variables que representan las cantidades físicas que caracterizan a las acciones y las influencias ambientales, las magnitudes geométricas, y las propiedades de los materiales, incluyendo las propiedades del suelo.

**1.5.2.20 mantenimiento:** Conjunto de actividades llevadas a cabo durante la vida útil de la estructura con el fin de permitirle cumplir con los requisitos de fiabilidad.

NOTA – Las actividades encaminadas a reparar a la estructura después de un acontecimiento accidental o sísmico quedan normalmente fuera del campo del mantenimiento.

**1.5.2.21 reparación:** Actividades llevadas a cabo para conservar o restaurar la función de una estructura que quedan fuera de la definición de mantenimiento.

**1.5.2.22 valor nominal:** Valor fijado sobre bases no estadísticas, como por ejemplo sobre experiencia adquirida o sobre los condicionantes físicos.

### 1.5.3 Términos relacionados con las acciones

#### 1.5.3.1 acción ( $F$ )

- a) conjunto de fuerzas (cargas) aplicadas a la estructura (acción directa);
- b) conjunto de deformaciones o aceleraciones impuestas causadas, por ejemplo, por cambios de temperatura, variación de la humedad, asientos diferenciales o terremotos (acción indirecta).

**1.5.3.2 efecto de la acción ( $E$ ):** Efecto de las acciones (o efecto de la acción) sobre los elementos estructurales (por ejemplo, fuerza interna, momento, tensión, deformación) o sobre la totalidad de la estructura (por ejemplo, flexión, rotación).

**1.5.3.3 acción permanente ( $G$ ):** Acción que previsiblemente va a actuar durante un periodo de referencia dado y cuya variación en magnitud en el tiempo es despreciable, o cuya variación es siempre en la misma dirección (monotónica) hasta que la acción alcanza un cierto valor límite.

**1.5.3.4 acción variable ( $Q$ ):** Acción cuya variación en magnitud en el tiempo no es ni despreciable ni monotónica.

**1.5.3.5 acción accidental ( $A$ ):** Acción, normalmente de corta duración pero de magnitud significativa, que no es previsible que ocurra en una estructura dada durante su vida útil de cálculo.

NOTA 1 – En muchos casos, una acción accidental es susceptible de tener consecuencias severas si no se toman las medidas apropiadas.

NOTA 2 – El impacto, la nieve, el viento y las acciones sísmicas pueden ser acciones variables o accidentales, dependiendo de la información disponible sobre distribuciones estadísticas.

**1.5.3.6 acción sísmica ( $A_E$ ):** Acción que surge debida a los movimientos del terreno provocados por los terremotos.

**1.5.3.7 acción geotécnica:** Acción transmitida a la estructura por el suelo, los terraplenes o el agua subterránea.

**1.5.3.8 acción fija:** Acción que tiene una distribución y posición fija en la estructura o en el elemento estructural tal que la magnitud y la dirección de la acción se determinan sin ambigüedad para la estructura o elemento estructural si esta magnitud y dirección se determinan en un punto de la estructura o del elemento estructural.

**1.5.3.9 acción libre:** Acción que puede tener varias distribuciones espaciales en la estructura.



**1.5.3.10 acción aislada:** Acción que puede tomarse como estadísticamente independiente en el tiempo y en el espacio con respecto a cualquier otra acción que actúa sobre la estructura.

**1.5.3.11 acción estática:** Acción que no llega a causar una aceleración significativa de la estructura o de los elementos estructurales.

**1.5.3.12 acción dinámica:** Acción que llega a causar una aceleración significativa de la estructura o de los elementos estructurales.

**1.5.3.13 acción cuasi-estática:** Acción dinámica representada por una acción estática equivalente dentro de un modelo estático.

**1.5.3.14 valor característico de una acción ( $F_k$ ):** Principal valor representativo de una acción.

NOTA — En tanto en cuanto un valor característico pueda fijarse sobre bases estadísticas, éste se escoge de manera que corresponda a una probabilidad definida de forma que no sea excedida hacia el lado desfavorable durante un "periodo de referencia" teniendo en cuenta la vida útil de cálculo de la estructura y duración de la situación de proyecto.

**1.5.3.15 periodo de referencia:** Periodo de tiempo elegido que se usa como base para valorar estadísticamente acciones variables y, posiblemente, acciones accidentales.

**1.5.3.16 valor de combinación de una acción variable ( $\psi_0 Q_k$ ):** Valor escogido - en tanto en cuanto pueda fijarse sobre bases estadísticas - de forma que la probabilidad de que los efectos causados por la combinación vayan a ser excedidos sea aproximadamente la misma que los causados por el valor característico de una acción concreta. Puede expresarse como una parte determinada del valor característico empleando un factor  $\psi_0 \leq 1$ .

**1.5.3.17 valor frecuente de una acción variable ( $\psi_1 Q_k$ ):** Valor determinado - en tanto en cuanto pueda fijarse sobre bases estadísticas - de forma que bien el tiempo total, dentro del periodo de frecuencia durante el cual éste sea superado, sea sólo una parte pequeña dada del periodo de referencia, o bien que la frecuencia con la que se exceda esté limitada a un valor dado. Puede expresarse como una parte determinada del valor característico empleando un factor  $\psi_1 \leq 1$ .

**1.5.3.18 valor cuasi-permanente de una acción variable ( $\psi_2 Q_k$ ):** Valor determinado de manera que el periodo total de tiempo durante el cual vaya a ser superado sea una fracción grande del periodo de referencia. Puede expresarse como una parte determinada del valor característico empleando un factor  $\psi_2 \leq 1$ .

**1.5.3.19 valor de acompañamiento de una acción variable ( $\psi Q_k$ ):** Valor de una acción variable que acompaña a la acción predominante en una combinación.

NOTA — El valor asociado a una acción variable puede ser el valor de combinación, el valor frecuente o el valor cuasi-permanente.

**1.5.3.20 valor representativo de una acción ( $F_{rep}$ ):** Valor utilizado para la verificación de un estado límite. Un valor representativo puede ser el valor característico ( $F_k$ ) o un valor asociado ( $\psi F_k$ ).

**1.5.3.21 valor de cálculo de una acción ( $F_d$ ):** Valor obtenido al multiplicar el valor representativo por el coeficiente parcial ( $\gamma$ ).

NOTA — El producto del valor representativo por el coeficiente parcial  $\gamma_F = \gamma_s \times \gamma_F$  puede también llamarse valor de cálculo de la acción (véase el apartado 6.3.2).

**1.5.3.22 combinación de acciones:** Conjunto de valores de cálculo empleados para la verificación de la fiabilidad estructural para un estado límite bajo la influencia simultánea de acciones diferentes.

## 1.5.4 Términos relacionados con propiedades de materiales y de productos

**1.5.4.1 valor característico ( $X_k$  o  $R_k$ ):** Valor de una propiedad de un material o producto que tiene una probabilidad definida de no llegar a alcanzarse en una hipotética serie ilimitada de ensayos. Este valor corresponde normalmente a un fractil definido de la distribución estadística aceptada de la propiedad concreta del material o producto. En determinadas circunstancias se utiliza un valor nominal como valor característico.

**1.5.4.2 valor de cálculo de una propiedad de un material o de un producto ( $X_d$  o  $R_d$ ):** Valor obtenido al dividir el valor característico por un coeficiente parcial  $\gamma_m$  o  $\gamma_M$ , o, en circunstancias especiales, por determinación directa.

**1.5.4.3 valor nominal de una propiedad de un material o de un producto:** Valor empleado normalmente como valor característico y establecido a partir de un documento apropiado tal como una norma europea o prenorma.

### 1.5.5 Términos relacionados con los datos geométricos

**1.5.5.1 valor característico de una propiedad geométrica ( $a_k$ ):** Valor que normalmente corresponde a las dimensiones definidas en el proyecto. Cuando es preciso, los valores de las cantidades geométricas pueden corresponder a ciertos fractiles definidos de la distribución estadística.

**1.5.5.2 valor de cálculo de una propiedad geométrica ( $a_d$ ):** Normalmente un valor nominal. Cuando es preciso, los valores de las cantidades geométricas pueden corresponder a ciertos fractiles definidos de la distribución estadística.

NOTA — El valor de cálculo de una propiedad geométrica es normalmente igual al valor característico. Sin embargo puede tratarse de forma diferente en aquellos casos en que el estado límite en consideración sea muy sensible al valor de la propiedad geométrica, por ejemplo, si se considera el efecto de las imperfecciones geométricas con respecto al pandeo. En tales casos, el valor de cálculo se establecerá normalmente como un valor especificado directamente, por ejemplo, en una norma o norma experimental adecuada. De forma alternativa, puede establecerse sobre una base estadística, con un valor que corresponda a un fractil más apropiado (por ejemplo, un valor más raro) que el que se aplica al valor característico.

### 1.5.6 Términos relacionados con el análisis estructural

NOTA — Las definiciones contenidas en el párrafo pueden no necesariamente estar relacionados con los términos empleados en la Norma EN 1990, pero se incluyen aquí para asegurar una armonización de términos que se relacionan con el análisis estructural para las Normas EN 1990, etc. hasta la Norma EN 1999.

**1.5.6.1 análisis estructural:** Procedimiento o algoritmo para la determinación de los efectos de las acciones en cada punto de la estructura.

NOTA — Puede ser que un análisis estructural haya que hacerlo a tres niveles usando métodos diferentes: análisis global, análisis del elemento y análisis local.

**1.5.6.2 análisis global:** Determinación, en una estructura, de un conjunto coherente bien de fuerzas internas y momentos, o de tensiones, que están en equilibrio con un conjunto concreto definido de acciones sobre la estructura, y que depende de las propiedades geométricas, estructurales o del material.

**1.5.6.3 análisis elástico lineal de primer orden sin redistribución:** Análisis estructural elástico basado en leyes lineales de tensión/deformación o de momento/curvatura y llevado a cabo sobre la geometría inicial.

**1.5.6.4 análisis elástico lineal de primer orden con redistribución:** Análisis elástico lineal en el que los momentos y fuerzas internas se modifican para el cálculo estructural, en coherencia con las acciones externas dadas y sin cálculo más explícito de la capacidad de rotación.

**1.5.6.5 análisis elástico lineal de segundo orden:** Análisis estructural elástico, que emplea leyes lineales de tensión/deformación, aplicado a la geometría de la estructura deformada.

**1.5.6.6 análisis no-lineal de primer orden:** Análisis estructural, llevado a cabo sobre la geometría inicial, que tiene en cuenta las propiedades de deformación no-lineal de los materiales.

NOTA — El análisis no-lineal de primer orden es o elástico con consideraciones apropiadas, o elástico-perfectamente plástico (véanse los apartados 1.5.6.8 y 1.5.6.9) o elasto-plástico (véase el apartado 1.5.6.10) o plástico rígido- (véase el apartado 1.5.6.11).

**1.5.6.7 análisis no-lineal de segundo orden:** Análisis estructural, llevado a cabo sobre la geometría de la estructura deformada, que tiene en cuenta las propiedades de deformación no-lineal de los materiales.

NOTA — El análisis no-lineal de segundo orden es o elástico-perfectamente plástico o elasto-plástico.

**1.5.6.8 análisis elástico-perfectamente plástico de primer orden:** Análisis estructural basado en relaciones de momento/curvatura consistentes en una parte elástica lineal seguida de una parte plástica sin endurecimiento, llevado a cabo sobre la geometría inicial de la estructura.

**1.5.6.9 análisis elástico-perfectamente plástico de segundo orden:** Análisis estructural basado en relaciones de momento/curvatura consistentes en una parte elástica lineal seguida de una parte plástica sin endurecimiento, llevado a cabo sobre la geometría de la estructura desplazada (o deformada).

**1.5.6.10 análisis elasto-plástico (de primer y de segundo orden):** Análisis estructural que emplea relaciones de tensión/deformación o de momento/curvatura consistente en una parte elástica lineal seguida de una parte plástica con o sin endurecimiento.

NOTA — En general se lleva a cabo sobre la geometría inicial de la estructura, pero puede también aplicarse a la geometría de la estructura desplazada (o deformada).

**1.5.6.11 análisis plástico rígido:** Análisis, llevado a cabo sobre la geometría inicial de la estructura, que usa teoremas de análisis límite para la comprobación directa de la carga última.

NOTA — Se supone la ley momento/curvatura sin deformación elástica y sin endurecimiento.

## 1.6 Símbolos

A los efectos de esta norma europea, son de aplicación los siguientes símbolos.

NOTA — La notación utilizada está basada en la Norma ISO 3898:1987.

### *Letras latinas mayúsculas*

$A$	Acción accidental
$A_d$	Valor de cálculo de una acción accidental
$A_{Ed}$	Valor de cálculo de una acción sísmica $A_{Ed} = \gamma_f A_{Ek}$
$A_{Ek}$	Valor característico de una acción sísmica
$C_d$	Valor nominal, o función, de ciertas propiedades de cálculo de los materiales
$E$	Efecto de la acción
$E_d$	Valor de cálculo de un efecto de la acción
$E_{d,dst}$	Valor de cálculo de un efecto de la acción desestabilizante
$E_{d,stab}$	Valor de cálculo de un efecto de la acción estabilizante
$F$	Acción
$F_d$	Valor de cálculo de una acción
$F_k$	Valor característico de una acción
$F_{rep}$	Valor representativo de una acción
$G$	Acción permanente
$G_d$	Valor de cálculo de una acción permanente

$G_{d,inf}$	Valor de cálculo inferior de una acción permanente
$G_{d,sup}$	Valor de cálculo superior de una acción permanente
$G_k$	Valor característico de una acción permanente
$G_{k,j}$	Valor característico de una acción permanente $j$
$G_{k,j,sup}$	Valor característico superior/inferior de una acción permanente $j$
$G_{k,j,inf}$	
$P$	Valor representativo pertinente de una acción de pretensado (véanse las Normas EN 1992, etc. hasta la EN 1996, y las Normas EN 1998 y EN 1999)
$P_d$	Valor de cálculo de una acción de pretensado
$P_k$	Valor característico de una acción de pretensado
$P_m$	Valor medio de una acción de pretensado
$Q$	Acción variable
$Q_d$	Valor de cálculo de una acción variable
$Q_k$	Valor característico de una sola acción variable
$Q_{k,l}$	Valor característico de la acción variable predominante $l$
$Q_{k,i}$	Valor característico de la acción variable asociada $i$
$R$	Resistencia
$R_d$	Valor de cálculo de la resistencia
$R_k$	Valor característico de la resistencia
$X$	Propiedad de un material
$X_d$	Valor de cálculo de una propiedad de un material
$X_k$	Valor característico de una propiedad de un material

*Letras minúsculas latinas*

$a_d$	Valores de cálculo de datos geométricos
$a_k$	Valores característicos de datos geométricos
$a_{nom}$	Valor nominal de datos geométricos
$u$	Desplazamiento horizontal de una estructura o de un elemento estructural
$w$	Flecha vertical de un elemento estructural

*Letras griegas mayúsculas*

$\Delta a$  Cambio hecho a los datos geométricos nominales por necesidades concretas de proyecto, por ejemplo, valoración de los efectos debidos a las imperfecciones

*Letras minúsculas griegas*

$\gamma$  Coeficiente parcial (de seguridad o de servicio)

$\gamma_f$  Coeficiente parcial de las acciones, que tienen en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de los valores de la acción con respecto a los valores representativos

$\gamma_F$  Coeficiente parcial de las acciones, que también tiene en cuenta incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales

$\gamma_g$  Coeficiente parcial de las acciones permanentes que tienen en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de los valores de la acción con respecto a los valores representativos

$\gamma_G$  Coeficiente parcial de las acciones permanentes, que también tiene en cuenta incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales

$\gamma_{G,j}$  Coeficiente parcial de la acción permanente  $j$

$\gamma_{G,j,\text{sup}} / \gamma_{G,j,\text{inf}}$  Coeficiente parcial de la acción permanente  $j$  para el cálculo de los valores superior/inferior de cálculo

$\gamma_I$  Coeficiente de importancia (véase la Norma EN 1998)

$\gamma_m$  Coeficiente parcial de la propiedad de un material

$\gamma_M$  Coeficiente parcial de la propiedad de un material, que también tiene en cuenta incertidumbres del modelo y variaciones dimensionales

$\gamma_p$  Coeficiente parcial de las acciones de pretensado (véanse las Normas EN 1992. etc. hasta la EN 1996, así como las Normas EN 1998 y EN 1999)

$\gamma_q$  Coeficiente parcial de las acciones variables, que tiene en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de los valores de las acciones con respecto a los valores de referencia

$\gamma_Q$  Coeficiente parcial de las acciones variables, que también tiene en cuenta las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales

$\gamma_{Q,i}$  Coeficiente parcial de la acción variable  $i$

$\gamma_{Rd}$  Coeficiente parcial asociado a la incertidumbre del modelo de resistencia

$\gamma_{Sd}$  Coeficiente parcial asociado a la incertidumbre de la acción y/o del modelo del efecto de la acción

$\eta$  Coeficiente de conversión

$\xi$  Coeficiente de reducción

$\psi_0$  Coeficiente del valor de combinación de una acción variable

$\psi_1$  Coeficiente del valor frecuente de una acción variable

$\psi_2$  Coeficiente del valor casi-permanente de una acción variable

## CAPÍTULO 2 REQUISITOS

### 2.1 Requisitos fundamentales

(1)P Una estructura debe proyectarse y ejecutarse de forma que, durante su vida prevista, con los grados de fiabilidad apropiados y de manera económica:

- sostenga todas las acciones e influencias que puedan ocurrir durante su ejecución y utilización; y
- se mantenga apta para el uso requerido.

(2)P Una estructura debe ser calculada para tener la adecuada:

- resistencia estructural;
- aptitud al servicio; y
- durabilidad.

(3)P En caso de incendio, la resistencia estructural debe ser la adecuada para el periodo de tiempo requerido.

NOTA – Véase también la Norma EN 1991-1-1.

(4)P Una estructura debe proyectarse y ejecutarse de forma que no se vea dañada por acontecimientos o sucesos como:

- explosiones;
- impactos; y
- las consecuencias de errores humanos.

de forma desproporcionada con la causa inicial.

NOTA 1 – Los sucesos a considerar son aquellos acordados para un proyecto concreto con el cliente y la autoridad correspondiente.

NOTA 2 – Se da más información en la Norma EN 1991-1-7.

(5)P Se deben evitar o limitar los daños potenciales mediante la elección apropiada de una o más de las siguientes medidas:

- evitar, eliminar o reducir los riesgos a los que pueda verse sometida la estructura;
- seleccionar una forma estructural que tenga poca sensibilidad a los riesgos considerados;
- seleccionar una forma estructural y un diseño que puedan sobrevivir adecuadamente la eliminación accidental de un elemento o de una parte limitada de la estructura, o un daño localizado de extensión aceptable;
- evitar en todo lo posible sistemas estructurales que puedan derrumbarse sin previo aviso;
- haciendo solidarios los elementos estructurales entre sí.

(6) Se deberían satisfacer los requisitos fundamentales mediante:

- la elección de materiales adecuados;

- el cálculo y detalles constructivos adecuados; y
- la especificación de procedimientos de control para el cálculo, la producción, la ejecución y el uso correspondiente al proyecto concreto.

(7) Las disposiciones del capítulo 2 deberían interpretarse sobre la base de que en el proyecto se ponen en práctica pericia y cuidados apropiados, basados en la información y buena práctica disponibles con generalidad en el momento en que se lleva a cabo el proyecto de la estructura.

## 2.2 Gestión de la fiabilidad

(1)P La fiabilidad que requieren las estructuras dentro del campo de aplicación de la Norma EN 1990 debe conseguirse:

- a) mediante cálculo según las Normas EN 1990, hasta la EN 1999 y
- b) mediante
  - una ejecución apropiada; y
  - medidas de gestión de la calidad.

NOTA – Véase el apartado 2.2 (5) y el anexo B.

(2) Se pueden adoptar *inter alia* diferentes niveles de fiabilidad

- para la resistencia estructural;
- para la aptitud al servicio.

(3) La elección de los niveles de fiabilidad para una estructura en concreto debería tener en cuenta los factores apropiados, incluyendo:

- la posible causa y/o modo de alcanzar un estado límite;
- las posibles consecuencias del fallo en términos de riesgo para la vida, lesiones, pérdidas económicas potenciales;
- la adversión pública al fallo;
- el coste y procedimientos necesarios para reducir el riesgo de fallo.

(4) Los niveles de fiabilidad a aplicar a una estructura concreta pueden especificarse de una o ambas maneras siguientes:

- mediante la clasificación de la estructura como un todo;
- mediante la clasificación de sus componentes.

NOTA – Véase también el anexo B.

(5) Los niveles de fiabilidad relacionados con la seguridad y aptitud al servicio estructurales pueden obtenerse mediante la combinación adecuada de:

- a) medidas preventivas y de protección (por ejemplo, puesta en práctica de barreras de seguridad, medidas activas y de protección contra el fuego, protección contra los riesgos de corrosión tales como la pintura y la protección catódica);

b) medidas relacionadas con el cálculo de proyecto:

- valores representativos de las acciones;
- la adopción de coeficientes de seguridad;

c) medidas relacionadas con el control de calidad;

d) medidas encaminadas a reducir los errores en el proyecto y la ejecución de la estructura y errores humanos graves;

e) otras medidas relacionadas con las otras siguiente materias de cálculo

- los requisitos básicos;
- el grado de robustez (integridad estructural);
- la durabilidad, incluida la elección de la vida útil de cálculo;
- el alcance y calidad de los estudios preliminares de los suelos y las posibles influencias medioambientales;
- la precisión de los modelos mecánicos empleados;
- los detalles constructivos.

f) ejecución eficiente, por ejemplo, de acuerdo con las normas de ejecución a las que se hace referencia en las Normas EN 1990, hasta la EN 1999.

g) inspección y mantenimiento adecuados de acuerdo con los procedimientos especificados en la documentación de proyecto.

(6) Las medidas para prevenir las potenciales causas de fallo y/o reducir sus consecuencias, pueden, en las circunstancias adecuadas, intercambiarse hasta cierto punto, siempre y cuando se mantengan los niveles de fiabilidad adecuados.

### 2.3 Vida útil de cálculo

(1) Se debería especificar la vida útil de cálculo.

NOTA – La tabla 2.1 establece categorías indicativas. Los valores dados en la tabla 2.1 pueden emplearse también para determinar prestaciones que son función del tiempo (por ejemplo, cálculos relacionados con la fatiga). Véase también el anexo A.

**Tabla 2.1**  
**Vida útil de cálculo indicativa**

Categoría de vida útil de cálculo	Vida útil de cálculo indicativa	Ejemplos
1	10	Estructuras temporales (1)
2	10 a 50	Partes de estructuras reemplazables, por ejemplo: vigas de rodadura, aparatos de apoyo
3	15 a 30	Estructuras agrícolas y similares
4	50	Estructuras de edificios y otras estructuras comunes
5	100	Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil.
(1) Estructuras o partes de estructuras que puedan desmontarse con la intención de volver a usarse no deberían considerarse como estructuras temporales.		



## **2.4 Durabilidad**

(1)P La estructura debe calcularse de forma que el deterioro a lo largo de su vida útil de cálculo no impida las prestaciones de la estructura por debajo de lo previsto, teniendo en cuenta el ambiente en que se encuentra y el nivel de mantenimiento previsto.

(2) Con el fin de obtener una estructura adecuadamente duradera, se debería tener en cuenta lo siguiente:

- el uso previsto y previsible de la estructura;
- los criterios de cálculo exigidos;
- las condiciones ambientales esperadas;
- la composición, propiedades y prestaciones de los materiales y productos;
- las propiedades del suelo;
- la elección del sistema estructural;
- la forma de los elementos y los detalles constructivos de la estructura;
- la calidad de la mano de obra y el nivel de control;
- las medidas de protección específicas;
- el mantenimiento previsto durante la vida útil de cálculo.

NOTA – Las correspondientes Normas EN 1992, hasta la EN 1999 definen medidas apropiadas para reducir el deterioro.

(3)P Las condiciones ambientales deben identificarse en la fase de proyecto de forma que su significado pueda ser evaluado en relación con la durabilidad y que se puedan hacer previsiones para la protección de los materiales utilizados en la estructura.

(4) El grado de deterioro puede ser estimado en base a cálculos, a ensayos, a la experiencia de construcciones anteriores o a una combinación de los tres medios.

## **2.5 Gestión de la calidad**

(1) Conviene implantar medidas apropiadas de gestión de la calidad para obtener una estructura que se corresponda con los requisitos e hipótesis hechas en el cálculo. Estas medidas incluyen:

- definición de los requisitos de fiabilidad;
- medidas de organización; y
- controles en las etapas de proyecto, ejecución, uso y mantenimiento.

NOTA – La Norma EN ISO 9001:2000 puede ser una base aceptable para las medidas de gestión de la calidad, donde proceda.

# **CAPÍTULO 3 PRINCIPIOS DE CÁLCULO EN ESTADOS LÍMITE**

## **3.1 Generalidades**

(1)P Se debe distinguir entre los estados límite últimos y los estados límite de servicio.

NOTA – En algunos casos, pueden resultar necesarias verificaciones adicionales, por ejemplo, para asegurar la seguridad vial.

(2) La verificación de una de las dos categorías de estados límite puede omitirse siempre que haya suficiente información para probar que se cubren los requisitos por los relativos a la otra.

(3)P Los estados límite se deben relacionar con situaciones de proyecto, véase el apartado 3.2.

(4) Se deberían clasificar las situaciones de proyecto en persistentes, transitorias o accidentales, véase el apartado 3.2.

(5) La verificación de los estados límite que tengan que ver con efectos que sean función del tiempo (por ejemplo, la fatiga) deberían referirse a la vida útil de cálculo de la construcción.

NOTA – La mayor parte de los efectos que son función del tiempo son acumulativos.

### 3.2 Situaciones de proyecto

(1)P Se deben seleccionar las situaciones de proyecto a considerar teniendo en cuenta las circunstancias bajo las cuales la estructura debe cumplir su función.

(2)P Las situaciones de proyecto se deben clasificar como sigue:

- situaciones de proyecto persistentes, que se refieren a condiciones de uso normal;
- situaciones de proyecto transitorias, que se refieren a condiciones temporales aplicables a la estructura, por ejemplo, durante su ejecución o reparación;
- situaciones de proyecto accidentales, que se refieren a condiciones excepcionales aplicables a la estructura o a su exposición, por ejemplo, a incendio, a la explosión, al impacto o a las consecuencias de fallo localizado;
- situaciones de proyecto sísmicas, que se refieren a condiciones aplicables a la estructura cuando se ve sometida a sismos.

NOTA – Las Normas EN 1990, hasta la Norma EN 1999 dan información relacionada con situaciones de proyecto específicas dentro de estas clases.

(3)P Las situaciones de proyecto seleccionadas deberán ser lo suficientemente severas y variadas como para tener en cuenta todas las condiciones que se puedan prever razonablemente que vayan a ocurrir durante la ejecución y utilización de la estructura.

### 3.3 Estados límite últimos

(1)P Los estados límite que se refieran a:

- la seguridad de las personas; y/o
- la seguridad de la estructura

se deben clasificar como estados límite últimos.

(2) En algunas circunstancias, los estados límite que se refieran a la protección de los contenidos se deberían clasificar como estados límite últimos.

NOTA – Las circunstancias son aquellas acordadas para un proyecto concreto con el cliente y las autoridades correspondientes.

(3) Los estados previos al colapso estructural que, por simplicidad, puedan considerarse en lugar del colapso mismo, pueden tratarse como estados límite últimos.

(4)P Los estados límite últimos siguientes se deben verificar cuando sea pertinente:

- pérdida de equilibrio de la estructura, o cualquier parte de ella, considerada como un cuerpo rígido;
- fallo por deformación excesiva, transformación de la estructura, o cualquier parte de ella, en un mecanismo, rotura, pérdida de estabilidad de la estructura o cualquier parte de ella, incluyendo los apoyos y la cimentación;
- fallo causado por fatiga o por otros efectos que dependen del tiempo.

NOTA – Distintos conjuntos de coeficientes parciales se asocian con los diferentes estados límite últimos, véase el apartado 6.4.1. Un fallo debido a una deformación excesiva es un fallo estructural debido a inestabilidad mecánica.

### 3.4 Estados límite de servicio

(1)P Se deben clasificar como estados límites de servicio los estados límites que se refieran a:

- el funcionamiento de la estructura o de los elementos estructurales bajo uso normal;
- la comodidad de las personas;
- la apariencia de las construcciones,

NOTA 1 – En el contexto de servicio o aptitud al servicio, el término "apariencia" se refiere a criterios tales como el de flecha excesiva y fisuración extendida más que a la estética.

NOTA 2 – Normalmente, los requisitos de aptitud al servicio se acuerdan para cada proyecto específico

(2)P Debe distinguirse entre estados límite de servicio reversibles e irreversibles.

(3) La verificación de los estados límite de servicio (o de aptitud al servicio) debería basarse en criterios referentes a los siguientes aspectos:

a) deformaciones que afecten a:

- la apariencia;
- la comodidad de los usuarios; o
- el funcionamiento de la estructura (incluyendo el funcionamiento de las máquinas o instalaciones);

o que causen daños a los acabados o a los elementos no estructurales

b) vibraciones

- que causen incomodidades a las personas; o
- que limiten la efectividad funcional de la estructura

c) daños que puedan afectar adversamente a:

- la apariencia;
- la durabilidad; o
- el funcionamiento de la estructura.

NOTA – Las correspondientes Normas EN 1992, hasta la Norma EN 1999 dan disposiciones adicionales relacionadas con criterios de servicio.

### 3.5 Cálculo en estados límite

(1)P El cálculo en estados límite debe basarse en el uso de modelos estructurales y de carga para los estados límite correspondientes.

(2)P Debe verificarse que no se supera ningún estado límite cuando los valores de cálculo correspondientes son introducidos en estos modelos para:

- las acciones;
- las propiedades de los materiales; o
- los datos geométricos.

(3)P Las verificaciones se deben llevar a cabo para todas las situaciones de proyecto e hipótesis de carga relevantes.

(4) Los requisitos del apartado 3.5(1)P deberían conseguirse mediante el método de los coeficientes parciales descritos en el capítulo 6.

(5) Como alternativa, pueden emplearse procedimientos de cálculo basado en métodos probabilísticos.

NOTA 1 – La autoridad correspondiente puede establecer condiciones de uso específicas.

NOTA 2 – Para base de métodos probabilísticos, véase el anexo C.

(6)P Las situaciones de proyecto seleccionadas deben ser tomadas en consideración y las hipótesis de carga críticas identificadas.

(7) Para una verificación específica deberían seleccionarse hipótesis de carga, identificando las distribuciones de carga compatibles, los conjuntos de deformaciones y las imperfecciones que deberían considerarse simultáneamente con acciones variables fijas y acciones permanentes.

(8)P Se deben tener en cuenta las posibles desviaciones con respecto a las posiciones y direcciones previstas.

(9) Los modelos estructurales y de carga pueden ser bien modelos físicos o modelos matemáticos.

## CAPÍTULO 4 VARIABLES FUNDAMENTALES

### 4.1 Acciones y condicionantes medioambientales

#### 4.1.1 Clasificación de las acciones

(1)P Las acciones deben clasificarse por su variación en el tiempo como sigue:

- acciones permanentes ( $G$ ), por ejemplo, el peso propio de las estructuras, el equipo fijo y el pavimento de las carreteras, así como las acciones indirectas causadas por retracción o asentamientos diferenciales;
- acciones variables ( $Q$ ), por ejemplo, las sobrecargas en forjados, vigas y cubiertas en edificios, las acciones del viento y las cargas de la nieve;
- acciones accidentales ( $A$ ), por ejemplo, las explosiones o el impacto de vehículos.

NOTA – Las acciones indirectas causadas por deformaciones impuestas pueden ser permanentes o variables.

(2) Algunas acciones, tales como las acciones sísmicas y las cargas de nieve pueden considerarse bien como acciones accidentales y/o como acciones variables, dependiendo de la ubicación de la obra, véase las Normas EN 1991 y EN 1998.

(3) Las acciones debidas al agua pueden considerarse como acciones permanentes y/o variables dependiendo de la variación de su magnitud en el tiempo.

(4)P Las acciones deben clasificarse también:

- por su origen, como directas o indirectas;
- por su variación espacial, como fijas o libres; o
- por su naturaleza y/o la respuesta estructural, como estáticas o dinámicas.

(5) Una acción debería describirse mediante un modelo, en que su magnitud venga representada en la mayoría de los casos por un escalar que puede tener varios valores representativos.

NOTA – Para algunas acciones y algunas verificaciones puede ser necesaria una representación más compleja de su magnitud.

#### 4.1.2 Valores característicos de las acciones

(1)P El valor característico  $F_k$  de una acción es su valor representativo principal y debe definirse:

- como un valor medio, un valor superior o inferior, o un valor nominal (que no hace referencia a una distribución estadística conocida)(véase la Norma EN 1991);
- en la memoria de cálculo, siempre que tenga la coherencia necesaria mediante los métodos dados por la Norma EN 1991.

(2)P El valor característico de una acción permanente debe ser estimado como sigue:

- si la variabilidad de  $G$  puede considerarse pequeña, puede emplearse un único valor  $G_k$ ;
- si la variabilidad de  $G$  no puede considerarse pequeña, se usaran dos valores: un valor superior  $G_{k,sup}$  y un valor inferior  $G_{k,inf}$ .

(3) La variabilidad de  $G$  puede no ser tomada en cuenta si  $G$  no varía de una forma significativa durante la vida útil de cálculo de la estructura y su coeficiente de variación es pequeño.  $G_k$  debería tomarse igual al valor medio.

NOTA – Este coeficiente de variación puede estar en el rango de 0,05 a 0,10, dependiendo del tipo de estructura.

(4) En los casos en que la estructura sea muy sensible a las variaciones de  $G$  (por ejemplo, algunos tipos de estructuras de hormigón pretensadas) se deberían utilizar dos valores aún si el coeficiente de variación es pequeño. Entonces  $G_{k,inf}$  es el fractil 5% y  $G_{k,sup}$  es el fractil 95% de la distribución estadística de  $G$ , que puede tomarse como Gaussiana.

(5) El peso propio de la estructura puede representarse por un único valor característico y calcularse sobre la base de las dimensiones nominales y de los pesos medios unitarios, véase la Norma EN 1991-1-1.

NOTA – Para los asientos de las cimentaciones, véase la Norma EN 1997.

(6) El pretensado ( $P$ ) debería clasificarse como una acción permanente causada por fuerzas controladas y/o deformaciones controladas actuando sobre la estructura. Estos tipos de pretensados deberían distinguirse unos de otros según sea pertinente (por ejemplo, pretensado mediante tendones, pretensado mediante deformaciones externas en los apoyos).

NOTA – Los valores característicos del pretensado, en un momento dado  $t$ , puede ser un valor superior  $P_{k,sup(t)}$  y un valor inferior  $P_{k,inf(t)}$ . Para los estados límite últimos se puede utilizar un valor medio  $P_m(t)$ . Las Normas EN 1992 a EN 1996 y la Norma EN 1999 dan información detallada.

(7)P Para las acciones variables, el valor característico ( $Q_k$ ) debe corresponderse con:

- un valor superior con una probabilidad prevista de no ser superado o un valor inferior con una probabilidad prevista de ser alcanzado, durante un periodo específico de referencia;
- un valor nominal, que puede especificarse en aquellos casos en que no se conozca una distribución estadística.

NOTA 1 – Las distintas Partes de la Norma EN 1991 dan dichos valores.

NOTA 2 – El valor característico de las acciones climáticas se basa en la probabilidad de 0,02 de que su parte variable en el tiempo sea superada a lo largo de un tiempo de referencia de un año. Esto es equivalente a un tiempo medio de retorno de 50 años para la parte variable en el tiempo. Sin embargo, en algunos casos, el carácter de la acción y/o la situación de proyecto seleccionada hace que otro fractil y/o periodo de retorno sea(n) más apropiado(s).

(8) El valor de cálculo  $A_d$  de las acciones accidentales debería especificarse en los proyectos individuales.

NOTA – Véase también la Norma EN 1991-1-7.

(9) El valor de cálculo  $A_{Ed}$  de las acciones sísmicas debería estimarse a partir del valor característico  $A_{Ek}$  o especificarse en los proyectos individuales.

NOTA – Véase también la Norma EN 1998.

(10) En acciones con componentes múltiples la acción característica debería representarse mediante un grupo de valores, a considerarse cada cual por separado en los cálculos de proyecto.

#### 4.1.3 Otros valores representativos de las acciones variables

(1)P Otros valores representativos de una acción variable deberán ser los siguientes:

- a) el valor de combinación, representado como un producto  $\psi_0 Q_k$ , empleado en la verificación de los estados límite últimos y los estados límite de servicio irreversibles (véase el capítulo 6 y el anexo C)
- b) el valor frecuente, representado como un producto  $\psi_1 Q_k$ , empleado en la verificación de los estados límite últimos que comprendan acciones accidentales y para la verificación de los estados límite últimos de servicio reversibles.

NOTA 1 – En edificios, por ejemplo, el valor frecuente se escoge de forma que el tiempo en que sea superado sea del 0,01 del tiempo de referencia; para cargas de tráfico rodado en puentes, el valor frecuente se evalúa sobre la base de un periodo de retorno de una semana.

NOTA 2 – El valor infrecuente, representado por el producto  $\psi_{1,inf} Q_k$ , se emplea para la verificación de ciertos estados límite de servicio, específicamente en losas de puentes de hormigón, o partes de hormigón de losas de puentes. El valor infrecuente, definido sólo para cargas de tráfico rodado (véase la Norma EN 1991-2), las acciones térmicas (véase la Norma EN 1991-5) y las acciones de viento (véase la Norma EN 1991-1-4), están basados en un periodo de retorno de un año.

- c) el valor cuasi permanente, representado como un producto  $\psi_2 Q_k$ , empleado para la verificación de estados límite últimos que incluyan acciones accidentales y para la verificación de estados límite de servicio reversibles. Los valores casi permanentes se usan también en el cálculo de efectos a largo plazo.

NOTA – Para las sobrecargas de uso en forjados de edificios, el valor cuasi permanente se escoge normalmente de forma que la proporción de tiempo en que es superado sea el 0,50 del periodo de referencia. El valor casi permanente puede ser determinado de forma alternativa como el valor promediado a lo largo de un periodo escogido. En el caso de acciones de viento o de cargas tráfico de carreteras, el valor casi permanente que generalmente se toma es cero.

#### 4.1.4 Representación de las acciones de fatiga

(1) Los modelos de las acciones de fatiga deberían ser aquellos que han sido establecidos en las partes correspondientes de la Norma EN 1991 procedentes de la evaluación de las respuestas de la estructura a fluctuaciones de cargas llevada a cabo con estructuras comunes (por ejemplo: puentes de uno o varios vanos, estructuras altas y esbeltas para el viento).

(2) En estructuras que quedan fuera del campo de aplicación de los modelos establecidos en las partes correspondientes de la Norma EN 1991, las acciones de fatiga deberían definirse a través de la evaluación de las mediciones o de estudios equivalentes del espectro de acciones previstas.

NOTA – Para tener en cuenta los efectos específicos de los materiales (por ejemplo, la influencia de la tensión media o los efectos no lineales), véanse las Normas de EN 1992 a EN 1999.

#### **4.1.5 Representación de las acciones dinámicas**

(1) Los modelos de la carga característica y de la de fatiga dados en la Norma EN 1991 incluyen los efectos de las aceleraciones causadas por las acciones ya sea implícitamente en las cargas características o bien explícitamente aplicando los coeficientes de intensificación dinámicos a las cargas estáticas características.

NOTA – Las limitaciones para el uso de estos modelos aparecen descritas en la distintas partes de la Norma EN 1991.

(2) Cuando las acciones dinámicas ocasionen una aceleración significativa de la estructura, se debería aplicar un análisis dinámico del sistema. Véase el apartado 5.1.3.

#### **4.1.6 Acciones geotécnicas**

(1)P Las acciones geotécnicas deben ser verificadas de acuerdo con la Norma EN 1997-1.

#### **4.1.7 Influencias ambientales**

(1)P Las influencias ambientales que pudieran afectar la durabilidad de la estructura deben ser tenidos en consideración a la hora de escoger los materiales estructurales, su especificación, la concepción estructural de conjunto y de los detalles.

NOTA – Las Normas EN 1992, etc. hasta la EN 1999 dan las medidas correspondientes.

(2) Los efectos de las influencias ambientales deberían tenerse en cuenta y, cuando sea posible, describirse cuantitativamente.

### **4.2 Propiedades de materiales y productos**

(1) Las propiedades de los materiales (incluidos el suelo y las rocas) o de los productos deberían representarse mediante los valores característicos (véase el apartado 1.5.4.1).

(2) Cuando la verificación de un estado límite sea sensible a la variabilidad de una propiedad de un material, se deberían tener en cuenta los valores característicos superior e inferior de la propiedad del material.

(3) Salvo que se indique otra cosa en las Normas EN 1991, hasta la EN 1999:

- cuando un valor inferior de una propiedad de un material sea desfavorable, el valor característico debería venir definido como el valor de fractil 5%;
- cuando un valor superior de una propiedad de un material sea desfavorable, el valor característico debería venir definido como el valor de fractil 95%.

(4)P Los valores de las propiedades de los materiales deben determinarse mediante ensayos normalizados ejecutados bajo las condiciones especificadas. Cuando sea necesario convertir los resultados de los ensayos en valores que pueda asumirse que representan el comportamiento del material o del producto en la estructura o en el terreno, se debe aplicar un coeficiente de conversión.

NOTA – Véase el anexo D y la Norma EN 1999.

(5) Cuando no haya disponibles suficientes datos estadísticos para establecer los valores característicos de un material o producto, se pueden tomar los valores nominales como valores característicos o se pueden establecer directamente los valores de cálculo de la propiedad. Cuando se establezcan directamente los valores de cálculo superior o inferior de una propiedad de un material o producto (por ejemplo, coeficientes de fricción o ratios de humectación), se deberían seleccionar de tal forma que valores más adversos afectaran a la probabilidad de que se dé el estado límite en consideración de forma similar a la de otros valores de cálculo.

(6) Cuando sea necesario un valor estimado superior de la resistencia (por ejemplo, para medidas de cálculo de la capacidad o para la resistencia a tracción del hormigón en el cálculo de los efectos de acciones indirectas) se debería tener en cuenta un valor característico superior de la resistencia.

(7) Las reducciones de la resistencia de un material o de un producto a tener en consideración como resultado de un efecto de acciones repetidas se dan en las Normas EN 1992, hasta la EN 1999 y pueden conducir a una reducción de la resistencia en el tiempo debido a la fatiga.

(8) Los parámetros de rigidez estructural (por ejemplo, los módulos de elasticidad, los coeficientes de fluencia) y los coeficientes de expansión térmica deberían representarse mediante un valor medio. Se deberían usar valores diferentes para tener en cuenta la duración de la carga.

NOTA – En algunos casos, puede ser necesario tener en cuenta un valor inferior o superior al valor medio del módulo de elasticidad (por ejemplo, en caso de inestabilidad).

(9) Los valores de las propiedades de los materiales o productos se dan en las Normas EN 1992, hasta la EN 1999 y en las especificaciones técnicas armonizadas correspondientes u otros documentos. Si los valores se toman de las normas de producto sin que se dé ayuda para su interpretación en las Normas EN 1992, hasta la EN 1999, se deberían emplear los valores más adversos.

(10)P Si se necesita un coeficiente parcial para los materiales o de los productos, debe utilizarse un valor del lado de la seguridad, a menos que exista información estadística adecuada para evaluar la fiabilidad del valor elegido.

NOTA – Se puede tener en cuenta, cuando sea oportuno, la falta de familiaridad con la aplicación de los materiales/productos empleados.

### **4.3 Datos geométricos**

(1)P Los datos geométricos se deben representar por sus valores característicos o, (por ejemplo, en el caso de imperfecciones) directamente por sus valores de cálculo.

(2) Las dimensiones especificadas en el cálculo pueden tomarse como valores característicos.

(3) Cuando su distribución estadística sea suficientemente conocida, se pueden usar valores de cantidades geométricas que correspondan a un fractil definido de la distribución estadística.

(4) Las imperfecciones que haya que tener en cuenta en el cálculo de elementos estructurales se dan en las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

(5)P Las tolerancias de las partes ensambladas de materiales diferentes deben ser compatibles entre sí.

## **CAPÍTULO 5 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CÁLCULO ASISTIDO CON ENSAYOS**

### **5.1 Análisis estructural**

#### **5.1.1 Modelización estructural**

(1)P Los cálculos se deben realizar empleando modelos estructurales apropiados que contengan las variables implicadas.



(2) Los modelos estructurales seleccionados deberían ser aquellos apropiados para predecir el comportamiento estructural con un nivel aceptable de precisión. Los modelos deberían también ser los apropiados para los estados límite considerados.

(3)P Los modelos estructurales deben basarse en teorías y prácticas de ingeniería consolidadas. Si fuera necesario, deben verificarse experimentalmente.

### **5.1.2 Acciones estáticas**

(1)P La modelización de las acciones estáticas debe basarse en una elección apropiada de las relaciones fuerza/deformación entre los elementos y sus conexiones y entre los elementos y el terreno.

(2)P Las condiciones de borde a aplicar al modelo deben representar a aquellas previstas para la estructura.

(3)P Los efectos de los desplazamientos y las deformaciones deben tenerse en cuenta en el contexto de las verificaciones del estado límite último si suponen un aumento significativo de los efectos de las acciones.

NOTA — Métodos concretos para tratar los efectos de las deformaciones se dan en las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

(4)P Las acciones indirectas deben ser introducidas en el análisis de la siguiente forma:

- en un análisis elástico lineal, directamente o como fuerzas equivalentes (utilizando la adecuada razón entre los módulos elásticos según corresponda);
- en un análisis no-lineal, directamente como deformaciones impuestas.

### **5.1.3 Acciones dinámicas**

(1)P El modelo estructural a emplear para determinar los efectos de las acciones debe establecerse teniendo en cuenta todos los elementos pertinentes relevantes, sus pesos, resistencias, rigideces y características de humectación y todos los elementos no pertinentes relevantes con sus propiedades.

(2)P Las condiciones de borde aplicadas al modelo deben ser representativas de aquellas previstas para la estructura.

(3) Cuando sea apropiado considerar acciones dinámicas como cuasi estáticas, las partes dinámicas pueden tenerse en consideración bien sea por su inclusión en los valores estáticos o bien por su mayoración a las acciones estáticas de coeficientes de amplificación dinámica equivalentes.

NOTA — Para algunos coeficientes de amplificación dinámica equivalentes se determinan las frecuencias naturales.

(4) En el caso de interacción suelo-estructura, la contribución del terreno puede ser modelado mediante muelles y amortiguadores apropiados equivalentes.

(5) En algunos casos, (por ejemplo, con vibraciones inducidas por el viento o con acciones sísmicas) las acciones pueden definirse mediante un análisis modal basado en un material lineal y un comportamiento geométrico. Con estructuras que tengan una geometría, rigidez y distribución de masa regulares, si sólo el modo fundamental es pertinente, un análisis modal explícito podría sustituirse por un análisis con acciones estáticas equivalentes.

(6) Las acciones dinámicas pueden también expresarse, cuando corresponda, en el dominio del tiempo o de las frecuencias, y la respuesta estructural determinarse mediante métodos apropiados.

(7) Cuando las acciones dinámicas causen vibraciones de una magnitud o frecuencias que puedan superar los requisitos de aptitud al servicio, se debería llevar a cabo una verificación de los estados límite de servicio.

NOTA — El anexo A y las Normas EN 1992, hasta EN 1999 dan directrices para determinar estos límites.

#### 5.1.4 Análisis estructural en caso de fuego

(1) El análisis estructural frente a incendio debe basarse en escenarios de cálculo en caso de incendios (véase la Norma EN 1991-1-2) y debe considerar modelos para la evolución de la temperatura dentro de la estructura así como modelos para el comportamiento mecánico de la estructura a temperatura elevada.

(2) El comportamiento exigido a la estructura en caso de incendio debería verificarse, bien mediante el análisis estructural global, por sub-estructuras o por elementos, o bien por el uso de datos tabulados o de resultados de ensayos.

(3) El comportamiento de la estructura en caso de incendio debería evaluarse teniendo en cuenta una exposición:

- a un incendio nominal; o
- a un modelo de incendio

con las acciones de acompañamiento

NOTA – Véase también la Norma EN 1991-1-2.

(4) El comportamiento estructural a temperaturas elevadas debería evaluarse de acuerdo con las Normas EN 1992, hasta EN 1996 y la Norma EN 1999, que dan modelos térmicos y estructurales para análisis.

(5) En función del material específico y del método de evaluación:

- se pueden emplear modelos térmicos basados en la hipótesis de una temperatura uniforme o no uniforme en las secciones transversales y a lo largo de los elementos;
- se pueden limitar los modelos estructurales a un análisis de elementos estructurales individuales o pueden tener en cuenta la interacción entre elementos expuestos al fuego.

(6) Los modelos de comportamiento mecánico de los elementos estructurales a temperaturas elevadas deberían ser no lineales.

NOTA – Véanse también las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

#### 5.2 Cálculo asistido por ensayos

(1) El cálculo puede basarse en una combinación de ensayos y cálculos.

NOTA – Los ensayos pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en las siguientes circunstancias:

- si no se dispone de modelos de cálculo adecuados;
- si se van a emplear un número grande de elementos similares;
- para confirmar, mediante ensayos de control, hipótesis hechas en el diseño.

Véase el anexo D.

(2) El cálculo asistido por ensayos debe alcanzar el nivel de fiabilidad requerido para la situación de proyecto correspondiente. Debe tenerse en cuenta la incertidumbre estadística debida al número limitado de resultados de ensayo.

(3) Se deberían emplear coeficientes parciales (incluidos aquellos para las incertidumbres del modelo) comparables a los empleados en las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

## CAPÍTULO 6 VERIFICACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE LOS COEFICIENTES PARCIALES

### 6.1 Generalidades

(1)P Al usar el método de los coeficientes parciales, se debe verificar que, en todas las situaciones de proyecto que se deben examinar, no se sobrepasa ningún estado límite cuando se incluyen en los modelos de cálculo los valores de cálculo de las acciones o efectos de acciones y de las resistencias.

(2) Para las situaciones de proyecto seleccionadas y los estados límite correspondientes, se deberían combinar las acciones individuales de las hipótesis de carga críticas como se indica en detalle en este capítulo. Sin embargo, las acciones que no puedan ocurrir simultáneamente, debido por ejemplo a razones físicas, no deberían considerarse juntas en la misma combinación.

(3) Los valores de cálculo deberían obtenerse empleando:

- los valores característicos;  $u$
- otros valores representativos;

en combinación con coeficientes parciales y otros, según se definen en este capítulo y en las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

(4) Puede resultar apropiado determinar directamente los valores de cálculo cuando sea necesario ponerse del lado de la seguridad.

(5)P Los valores de cálculo determinados directamente sobre bases estadísticas deben corresponder al menos al mismo grado de fiabilidad para los diversos estados límite al grado implícito en los coeficientes parciales dados en esta norma.

### 6.2 Limitaciones

(1) El uso de las Reglas de Aplicación dadas en la Norma EN 1990 se limita a las verificaciones de los estados límite últimos y de servicio en estructuras sometidas a cargas estáticas, incluyendo los casos en que los efectos dinámicos se evalúan empleando cargas cuasi estáticas equivalentes y coeficientes de amplificación dinámica, por ejemplo viento y cargas de tráfico. Para análisis no lineal y fatiga se deberían aplicar las reglas específicas dadas en las diferentes partes de las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

### 6.3 Valores de cálculo

#### 6.3.1 Valores de cálculo de las acciones

(1) El valor de cálculo  $F_d$  de una acción  $F$  puede por regla general expresarse como:

$$F_d = \gamma_f F_{rep} \quad (6.1a)$$

con:

$$F_{rep} = \psi F_k \quad (6.1b)$$

donde

$F_k$  es el valor característico de la acción.

$F_{rep}$  es el valor representativo de la acción correspondiente.

$\gamma_f$  es el coeficiente parcial de la acción que tiene en cuenta la posibilidad de desviaciones desfavorables de la acción con respecto a los valores representativos.

$\psi$  es 1,00 o  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  o  $\psi_2$ .

(2) Para acciones sísmicas, el valor de cálculo  $A_{Ed}$  debería determinarse teniendo en cuenta el comportamiento estructural y otros criterios apropiados detallados en la Norma EN 1998.

### 6.3.2 Valores de cálculo de los efectos de las acciones

(1) Para una hipótesis de carga específica, los valores de cálculo de los efectos de las acciones ( $E_d$ ) pueden, por regla general, expresarse como:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \{ \gamma_{f,i} F_{rep,i}; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (6.2)$$

donde

$a_d$  son los valores de cálculo de los datos geométricos (véase el apartado 6.3.4);

$\gamma_{Sd}$  es un coeficiente parcial que tiene en cuenta incertidumbres:

- en la modelización de los efectos de las acciones;
- en algunos casos, en la modelización de las acciones.

NOTA – En el caso más general los efectos de las acciones dependen de las propiedades de los materiales.

(2) En la mayoría de los casos se puede hacer la siguiente simplificación:

$$E_d = E \{ \gamma_{F,i} F_{rep,i}; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (6.2a)$$

donde

$$\gamma_{F,i} = \gamma_{Sd} \times \gamma_{f,i} \quad (6.2b)$$

NOTA – Cuando sea pertinente, por ejemplo, cuando intervengan acciones geotécnicas, pueden aplicarse coeficientes parciales  $\gamma_{F,i}$  a las acciones individuales o aplicar un único coeficiente parcial global  $\gamma_F$  al efecto de la combinación de acciones con sus coeficientes parciales adecuados.

(3)P Cuando haya que distinguir entre efectos favorables y desfavorables de las acciones permanentes, se deben emplear dos coeficientes parciales ( $\gamma_{G, inf}$  y  $\gamma_{G, sup}$ ).

(4) Para un análisis no lineal (es decir, cuando la relación entre las acciones y sus efectos sea no lineal) se pueden tomar en consideración las siguientes reglas simplificadas en el caso de una sola acción predominante:

- a) cuando el efecto de la acción aumente más que la acción, el coeficiente parcial  $\gamma_F$  debería aplicarse al valor representativo de la acción;
- b) cuando el efecto de la acción aumente menos que la acción, el coeficiente parcial  $\gamma_F$  debería aplicarse al efecto de la acción correspondiente al valor representativo de la acción.

NOTA – Excepto en estructuras de cuerda, de cable y de membrana, la mayoría de las estructuras o elementos estructurales se encuentran en la categoría a).

(5) En aquellos casos en que se den métodos más refinados en las correspondientes Normas EN 1991, hasta EN 1999 (por ejemplo, para estructuras pretensadas), éstos deberían emplearse con preferencia al del apartado 6.3.2(4).

### 6.3.3 Valores de cálculo de las propiedades de materiales o productos

(1) El valor de cálculo  $X_d$  de una propiedad de un material o producto puede por regla general expresarse como:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (6.3)$$

donde

$X_k$  es el valor característico de la propiedad del material o producto (véase el apartado 4.2(3));

$\eta$  es el valor medio del coeficiente de conversión teniendo en cuenta:

- los efectos de volumen y escala;
- los efectos de la humedad y la temperatura;
- cualquier otro parámetro de relevancia;

$\gamma_m$  es el coeficiente parcial de la propiedad del material o producto que tiene en cuenta:

- la posibilidad de una desviación desfavorable de una propiedad de un material o producto con relación a su valor característico;
- la parte aleatoria del coeficiente de conversión  $\eta$ .

(2) Alternativamente, en los casos apropiados, el coeficiente de conversión  $\eta$  puede ser:

- implícitamente tenido en cuenta dentro del valor característico mismo; o
- empleando  $\gamma_M$  en vez de  $\gamma_m$  (véase la expresión (6.6b)).

NOTA – El valor de cálculo puede establecerse mediante medios tales como:

- relaciones empíricas con propiedades físicas medidas; o
- con la composición química; o
- de experiencia previa; o
- de valores dados en normas europeas u otros documentos apropiados.

#### 6.3.4 Valores de cálculo de los datos geométricos

(1) Los valores de cálculo de los datos geométricos tales como las dimensiones de los elementos que sean utilizadas para evaluar los efectos de las acciones y/o las resistencias pueden representarse mediante los valores nominales:

$$a_d = a_{nom} \quad (6.4)$$

(2) P Cuando los efectos de las desviaciones en los datos geométricos (por ejemplo, inexactitud en la aplicación de la carga o localización de los apoyos) sean significativos para la fiabilidad de la estructura (por ejemplo, por efectos de segundo orden), los valores de cálculo de los datos geométricos deben definirse por:

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (6.5)$$

donde

$\Delta a$  Tiene en cuenta:

- la posibilidad de desviaciones desfavorables con referencia a los valores característicos o nominales;
- el efecto acumulativo de una coincidencia simultánea de diversas desviaciones geométricas.

NOTA 1 –  $a_d$  puede representar también imperfecciones geométricas en que  $a_{nom} = 0$  (es decir,  $\Delta a \neq 0$ ).

NOTA 2 – En su caso, las Normas EN 1991, hasta EN 1999 proporcionan disposiciones adicionales.

(3) Los efectos de otras desviaciones deberían estar cubiertos por coeficientes parciales:

- por el lado de la acción ( $\gamma_F$ ); y/o
- por el lado de la resistencia ( $\gamma_M$ ).

NOTA – Las tolerancias están definidas en las normas de ejecución correspondientes citadas en las Normas EN 1990, hasta EN 1999.

### 6.3.5 Resistencia de cálculo

(1) La resistencia de cálculo  $R_d$  puede expresarse de la siguiente manera:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R \{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R \left\{ \eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d \right\} \quad i \geq 1 \quad (6.6)$$

donde

$\gamma_{Rd}$  es el coeficiente parcial que cubre la incertidumbre del modelo de la resistencia, además de las desviaciones geométricas si éstas no están modelizadas explícitamente (véase el apartado 6.3.4(2));

$X_{d,i}$  es el valor de cálculo de la propiedad  $i$  del material.

(2) Se puede hacer la siguiente simplificación de la expresión (6.6):

$$R_d = R \left\{ \eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_d \right\} \quad i \geq 1 \quad (6.6a)$$

donde

$$\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \times \gamma_{m,i} \quad (6.6b)$$

NOTA –  $\eta_i$  puede incorporarse en  $\gamma_{M,i}$ , véase el apartado 6.3.3 (2).

(3) De forma alternativa a la expresión (6.6a), la resistencia de cálculo puede obtenerse directamente del valor característico de la resistencia de un material o producto, sin la determinación específica de valores de cálculo para las variables básicas individuales, empleando:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (6.6c)$$

NOTA – Esto es aplicable a productos o elementos hechos con un solo material (por ejemplo, acero) y también se usa en conexión con el anexo D "Cálculo asistido con ensayos".

(4) De forma alternativa a las expresiones (6.6a) y (6.6c), en estructuras o elementos estructurales que se analicen mediante métodos no lineales y que comprendan más de un material actuando de forma asociada, o cuando las propiedades del terreno intervienen en la resistencia de cálculo, se puede emplear la siguiente expresión de resistencia de cálculo:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{M,1}} R \left\{ \eta_1 X_{k,1}; \eta_1 X_{k,i(i>1)} \frac{\gamma_{m,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d \right\} \quad (6.6d)$$

NOTA – En algunos casos, la resistencia de cálculo puede expresarse aplicando los coeficientes parciales  $\gamma_M$  directamente a las resistencias individuales debidas a las propiedades de los materiales.

## 6.4 Estados límite últimos

### 6.4.1 Generalidades

(1)P Los siguientes estados límite últimos deben verificarse en su caso:

- a) EQU: pérdida del equilibrio estático de la estructura o de cualquier parte de ella considerada como un cuerpo rígido, en que:
  - las variaciones mínimas en el valor o en la distribución espacial de las acciones de un solo origen son significativas, y
  - las resistencias de los materiales de construcción o del terreno no son dominantes;
- b) STR: Fallo interno o deformación excesiva de la estructura o elemento estructural, incluso zapatas, pilotes, muros de sótano, etc., en que es dominante la resistencia de los materiales de construcción de la estructura.
- c) GEO: Fallo interno o deformación excesiva del terreno en que las resistencias del suelo o de la roca son significativas para la resistencia.
- d) FAT: Fallo por fatiga de la estructura o de los elementos estructurales.

NOTA – Para el cálculo a la fatiga, las combinaciones de las acciones se dan en las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

(2)P Los valores de cálculo de las acciones deberán estar de acuerdo con el anexo A.

### 6.4.2 Verificaciones del equilibrio estático y de la resistencia

(1)P Cuando se tome en consideración un estado límite de equilibrio estático de la estructura (EQU) se deberá verificar que:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb} \quad (6.7)$$

donde

$E_{d,dst}$  es el valor de cálculo del efecto de acciones desestabilizadoras;

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

(2) Cuando sea apropiado, la expresión de un estado límite de equilibrio estático puede complementarse con términos adicionales, incluyendo, por ejemplo, un coeficiente de fricción entre cuerpos rígidos.

(3)P Al considerar un estado límite de rotura o deformación excesiva de una sección, elemento o conexión (STR y/o GEO), se debe verificar que:

$$E_d \leq R_d \quad (6.8)$$

donde

$E_d$  es el valor de cálculo de los efectos de las acciones tales como fuerza interna, momento o un vector que represente varias fuerzas internas o momentos;

$R_d$  es el valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

NOTA 1 – El anexo A da detalles sobre los métodos STR y GEO.

NOTA 2 – La expresión (6.8) no cubre todos los formatos de verificación con relación al pandeo, es decir, fallo que tiene lugar cuando no se pueden limitar efectos de segundo orden no pueden ser limitados por la respuesta estructural, o por una respuesta aceptable de la estructura. Véanse las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

### 6.4.3 Combinación de acciones (excluidas las verificaciones a fatiga)

#### 6.4.3.1 Generalidades

(1)P Para cada hipótesis de carga crítica, los valores de cálculo de los efectos de las acciones ( $E_d$ ) deben determinarse mediante la combinación de los valores de las acciones que se considere que puedan ocurrir simultáneamente.

(2) Cada combinación de acciones debería incluir:

- una acción variable predominante, o
- una acción accidental.

(3) Las combinaciones de acciones deberían estar de acuerdo con los apartados 6.4.3.2 a 6.4.3.4.

(4)P Cuando los resultados de una verificación sean muy sensibles a las variaciones de la magnitud de una acción permanente de un sitio a otro de la estructura, las partes favorables y desfavorables de esta acción deben tratarse como acciones individuales.

NOTA – Esto es de aplicación en particular para la verificación del equilibrio estático y de los estados límite análogos, véase el apartado 6.4.2 (2).

(5) Cuando varios efectos de una misma acción (por ejemplo, el momento flector y la fuerza normal debidos al peso propio) no estén completamente correlacionadas, puede reducirse el coeficiente parcial a aplicar a cualquier componente favorable.

NOTA – Para información adicional sobre esta materia, véanse los apartados sobre los efectos vectoriales en las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

(6) Las deformaciones impuestas deberían tenerse en cuenta cuando sea oportuno.

NOTA – Para mayor información, véase el apartado 5.1.2.4(P) y las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

#### 6.4.3.2 Combinaciones de acciones para situaciones permanentes y transitorias (combinaciones fundamentales)

(1) El formato general de los efectos de las acciones debería ser:

$$E_d = \gamma_{Sd} E \left\{ \gamma_{g,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{q,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9a)$$

(2) La combinación de efectos de las acciones a considerar debería basarse en

- el valor de cálculo de la acción variable predominante, y
- los valores de combinación de cálculo de las acciones variables de acompañamiento:

NOTA – Véase también el apartado 6.4.3.2 (4).

$$E_d = E \left\{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9b)$$

(3) La combinación de las acciones entre corchetes, en (6.9b) puede bien expresarse como

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

o, de forma alternativa para los estados límite STR y GEO, como la menos favorable de las dos expresiones siguientes:



$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad (6.10b)$$

donde

"+" significa "a combinarse con"

$\Sigma$  significa "el efecto combinado de"

$\xi$  es un coeficiente de reducción de las acciones permanentes  $G$  desfavorables.

NOTA – El anexo A da más información sobre esta elección.

(4) Si la relación entre las acciones y sus efectos no es lineal, las expresiones (6.9a) o (6.9b) deberían aplicarse directamente, dependiendo del incremento relativo de los efectos de las acciones comparado con el incremento de la magnitud de las acciones (véase también el apartado 6.3.2 (4)).

#### 6.4.3.3 Combinaciones de acciones para situaciones de proyecto accidentales

(1) El formato general de los efectos de las acciones debería ser:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; A_d; (\psi_{1,1} \text{ o } \psi_{2,1}) Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.11a)$$

(2) La combinación de las acciones entre corchetes { } puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" A_d "+" (\psi_{1,1} \text{ o } \psi_{2,1}) Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.11b)$$

(3) La elección entre  $\psi_{1,1} Q_{k,1}$  o  $\psi_{2,1} Q_{k,1}$  debería elegirse en función de la situación de proyecto accidental correspondiente (impacto, incendio o supervivencia después de un suceso o situación accidental).

NOTA – Las Partes correspondientes de las Normas EN 1991, hasta EN 1999 aportan consejos.

(4) Las combinaciones de acciones para las situaciones de proyecto accidentales deberían, o bien:

- comprender una acción  $A$  accidental explícita (fuego o impacto); o
- referirse a una situación posterior a un acontecimiento accidental ( $A = 0$ ).

Para situaciones de incendio, aparte del efecto de la temperatura sobre las propiedades del material,  $A_d$  debería de representar el valor de cálculo de la acción térmica indirecta debida al incendio.

#### 6.4.3.4 Combinaciones de acciones para situaciones de proyecto sísmicas

(1) El formato general de los efectos de las acciones debería ser:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; A_{Ed}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.12a)$$

(2) La combinación de las acciones entre corchetes { } puede expresarse como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" A_{Ed} "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.12b)$$

#### 6.4.4 Coeficientes parciales de las acciones y las combinaciones de acciones

(1) Los valores de los coeficientes  $\gamma$  y  $\psi$  para las acciones deberían obtenerse de la Norma EN 1991 y del anexo A.

#### 6.4.5 Coeficientes parciales de los materiales y productos

(1) Los coeficientes parciales de las propiedades de los materiales y productos deberían obtenerse de las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

### 6.5 Estados límite de servicio

#### 6.5.1 Verificaciones

(1)P Se debe verificar que

$$E_c \leq C_d \quad (6.13)$$

donde

$C_d$  es el valor de cálculo límite del criterio correspondiente de aptitud al servicio;

$E_c$  es el valor de cálculo de los efectos de las acciones especificadas en el criterio de aptitud al servicio, determinado sobre la base de la combinación correspondiente.

#### 6.5.2 Criterios de aptitud al servicio

(1) Las deformaciones a tener en cuenta en relación con los requisitos de aptitud al servicio deberían tomarse del correspondiente anexo A de acuerdo con el tipo de obra de construcción, o acordado con el cliente o la Autoridad nacional.

NOTA – Para otros criterios específicos de aptitud al servicio tales como espesor de fisura, limitación de tensión o deformación, resistencia al deslizamiento, véanse las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

#### 6.5.3 Combinación de acciones

(1) Las combinaciones de acciones a tener en cuenta en las situaciones de proyecto correspondientes deberían ser apropiadas para los requisitos de aptitud al servicio y criterios de comportamiento que se estén verificando.

(2) Las combinaciones de acciones para los estados límite de servicio se definen simbólicamente mediante las siguientes expresiones: (véase también el apartado 6.5.4).

NOTA – Se da por hecho, en estas expresiones, que los coeficientes parciales son igual a 1. Véanse el anexo A y las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

a) Combinación característica:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.14a)$$

En la que la combinación de acciones entre corchetes  $\{ \}$  (llamada la combinación característica), se puede expresar como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

NOTA – La combinación característica se utiliza normalmente para estados límite irreversibles.

b) Combinación frecuente:

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.15a)$$

En la que la combinación de acciones entre corchetes { } (llamada la combinación frecuente) se puede expresar como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" \psi_{1,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

NOTA – La combinación frecuente se utiliza normalmente en los estados límite reversibles.

c) Combinación casi-permanente

$$E_d = E \left\{ G_{k,j}; P; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.16a)$$

En la que la combinación de acciones entre corchetes { } (llamada la combinación casi-permanente), se puede expresar como:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} "+" P "+" \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

en que la notación se da en los apartados 1.6 y 6.4.3 (1).

NOTA – La combinación casi-permanente se emplea normalmente para los efectos a largo plazo y para la apariencia de la estructura.

(3) Con respecto al valor representativo de la acción de pretensado (es decir,  $P_k$  o  $P_m$ ), se debería hacer referencia al correspondiente Eurocódigo de cálculo para el tipo de pretensado en consideración.

(4)P Los efectos de las acciones debidas a deformaciones externas deberán tomarse en consideración cuando corresponda.

NOTA – En algunos casos, las expresiones (6.14) a (6.16) requieren una modificación. Las Partes correspondientes de las Normas EN 1992, hasta EN 1999 dan reglas detalladas.

#### 6.5.4 Coeficientes parciales de los materiales

(1) Con respecto a los estados límite de servicio, los coeficientes parciales  $\gamma_M$  para las propiedades de los materiales debería tomarse como 1,0 excepto si se especifica de forma diferente en las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

**ANEXO A.1 (Normativo)****APLICACIÓN A EDIFICIOS****A.1.1 Campo de aplicación**

(1) Este anexo A.1 da reglas y métodos para establecer las combinaciones de acciones para edificios. También establece los valores de cálculo recomendados de las acciones permanentes, variables y accidentales y los coeficientes  $\psi$  recomendados para su uso en el cálculo de edificios.

NOTA – Se pueden dar indicaciones en el anexo nacional con respecto al uso de la tabla 2.1 (vida útil de cálculo).

**A.1.2 Combinaciones de acciones****A.1.2.1 Generalidades**

(1) Los efectos de las acciones que no puedan darse simultáneamente debido a razones físicas o funcionales no deberían considerarse juntas en las combinaciones de acciones.

NOTA 1 – Dependiendo de sus usos y la forma y la localización de un edificio, las combinaciones de acciones pueden basarse en no más de dos acciones variables.

NOTA 2 – Cuando sean necesarias las modificaciones de los apartados A.1.2.1 (2) y A.1.2.1 (3) por razones geográficas, éstas pueden ser definidas en el anexo nacional.

(2) Las combinaciones de acciones dadas en las expresiones (6.9a) a (6.12b) deberían utilizarse al verificar los estados límite últimos.

(3) Las combinaciones de acciones dadas en las expresiones (6.14a) a (6.16b) deberían utilizarse al verificar los estados límite de servicio.

(4) Las combinaciones de acciones que incluyan fuerzas de pretensado deberían tratarse con el detalle dado en las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

**A.1.2.2 Valores de los coeficientes  $\psi$** 

(1) Los valores de los coeficientes  $\psi$  deberían especificarse.

NOTA – Los valores recomendados de los coeficientes  $\psi$  para las acciones más comunes pueden obtenerse de la tabla A.1.1

**Tabla A.1.1**  
**Valores recomendados de los coeficientes  $\psi$  para edificios**

Acción	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecargas en edificios, categoría (véase la Norma EN 1991-1-1)			
Categoría A: zonas residenciales, domésticas	0,7	0,5	0,3
Categoría B: zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Categoría C: zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Categoría D: zonas comerciales	0,7	0,7	0,6
Categoría E: zonas de almacenamiento	1,0	0,9	0,8
Categoría F: zona de tráfico, peso del vehículo $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Categoría G: zona de tráfico, $30 \text{ kN} < \text{peso del vehículo} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Categoría H: cubiertas	0	0	0
Cargas de nieve en edificios (véase la Norma EN 1991-1-3)*			
Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas $H > 1\,000$ m sobre el nivel del mar	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas $H \leq 1\,000$ m sobre el nivel del mar	0,50	0,20	0
Cargas de viento en edificios (véase la Norma EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (no la debida a incendio) en edificios (véase la Norma EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTA – Los valores de $\psi$ pueden establecerse mediante los anexos nacionales.			
* Para los países que no se citan, véanse las condiciones locales correspondientes			

### A.1.3 Estados límite últimos

#### A.1.3.1 Valores de cálculo de las acciones en situaciones de proyecto permanentes y transitorias

(1) Los valores de cálculo de las acciones para los estados límite últimos en las situaciones de proyecto permanentes y transitorias (expresiones (6.9a) a (6.10b)) deberían estar de acuerdo con las tablas A.1.2(A) a (C).

NOTA – Los valores de las tablas A.1.2 (A) a (C) pueden alterarse, por ejemplo, para diferentes niveles de fiabilidad, en el anexo nacional (véanse el capítulo 2 y el anexo B).

(2) Al aplicar las tablas A.1.2(A) a (C) en los casos en que los estados límite sean muy sensibles a variaciones en la magnitud de las acciones permanentes, los valores característicos superior e inferior de las acciones deberían tomarse de acuerdo con el apartado 4.1.2(2)P.

(3) El equilibrio estático (EQU, véase el apartado 6.4.1) en las estructuras de edificios debería verificarse empleando los valores de cálculo de las acciones de la tabla A.1.2(A).

(4) El cálculo de elementos estructurales (STR, véase el apartado 6.4.1) que no comprenda acciones geotécnicas, debería verificarse empleando los valores de cálculo de las acciones que figuran en la tabla A.1.2(B).

(5) El cálculo de elementos estructurales (zapatas, pilotes, muros de sótano, etc.) (STR) que comprenda acciones geotécnicas y la resistencia del terreno (GEO, véase el apartado 6.4.1) debería verificarse empleando uno de los tres enfoques siguientes suplementados, para las acciones geotécnicas y las resistencias, por la Norma EN 1997:

- Enfoque 1: Aplicando, en cálculos separados los valores de cálculo de la tabla A.1.2 (C) y la tabla A.1.2(B) a las acciones geotécnicas así como a las otras acciones en/de la estructura. En casos normales, el dimensionado de las cimentaciones está controlado por la tabla A.1.2(C) y la resistencia estructural está controlada por la tabla A.1.2(B).

NOTA – En algunos casos, la aplicación de estas tablas es más complicado, véase la Norma EN 1997.

- Enfoque 2: Aplicando los valores de cálculo de la tabla A.1.2(B) a las acciones geotécnicas así como a las otras acciones en la estructura.
- Enfoque 3: Aplicando los valores de cálculo de la tabla A.1.2(C) a las acciones geotécnicas y, de forma simultánea, aplicando los coeficientes parciales de la tabla A.1.2(B) a las otras acciones en/de la estructura.

NOTA – La elección para el uso de los enfoques 1, 2 ó 3 se hace en el anexo nacional.

(6) La estabilidad global de las estructuras de los edificios (por ejemplo, la estabilidad de una ladera que sirve de apoyo a un edificio) debería verificarse de acuerdo con la Norma EN 1997.

(7) Los fallos por problemas hidráulicos o por subpresión (por ejemplo, en el fondo de una excavación para la estructura de un edificio) deberían verificarse con la Norma EN 1997.

**Tabla A.1.2(A)**  
**Valores de cálculo de las acciones (EQU) (Conjunto A)**

Situaciones de proyecto permanentes y transitorias	Acciones permanentes		Acción variable(*) predominante	Acciones variables de acompañamiento	
	Desfavorables	Favorables		Principal (si hubiera alguna)	Otras
Ecuación 6.10	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} G_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(*) Las acciones variables son aquellas tomadas en consideración en la tabla A.1.1 NOTA 1 – Los valores $\gamma$ pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados de $\gamma$ son: $\gamma_{Gj,sup} = 1,10$ $\gamma_{Gj,inf} = 0,90$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) NOTA 2 – En los casos en que la verificación del equilibrio estático también comprenda la resistencia de los elementos estructurales, como una alternativa a las dos verificaciones por separado basadas en las tablas A.1.2(A) y A.1.2(B), se puede adoptar una verificación combinada, basada en la tabla A.1.2(A), si lo permite el anexo nacional, con el siguiente conjunto de valores recomendados. Los valores recomendados pueden ser alterados por el anexo nacional: $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$ $\gamma_{Gj,inf} = 1,15$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) con tal que la aplicación de $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$ tanto a la parte favorable como a la desfavorable de las acciones permanentes no produzca un efecto más desfavorable.					

**Tabla A.1.2(B)**  
**Valores de cálculo de las acciones (STR/GEO) (Conjunto B)**

Situaciones de proyecto permanentes y transitorias	Acciones permanentes		Acción variable predominante	Acciones variables (*) de acompañamiento		Situaciones de proyecto permanentes y transitorias	Acciones permanentes		Acción variable(*) predominante	Acciones variables (*) de acompañamiento	
	Desfavorables	Favorables		Principal (si hubiera alguna)	Otras		Desfavorables	Favorables		Principal	Otras
Ec. 6.10	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} G_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	Ec. 6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
						Ec. 6.10b	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} G_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(\*) Las acciones variables son aquellas tomadas en consideración en la tabla A.1.1

NOTA 1 – La elección entre 6.10, ó 6.10a y 6.10b se hará en el anexo nacional. En el caso de 6.10a y 6.10b, el anexo nacional puede además modificar 6.10a para incluir únicamente acciones permanentes.

NOTA 2 – Los valores  $\gamma$  y  $\xi$  pueden establecerse en el anexo nacional. Se recomiendan los siguientes valores para  $\gamma$  y  $\xi$  cuando se empleen las expresiones 6.10, ó 6.10a y 6.10b.

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (de forma que } \xi \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \times 1,35 \cong 1,15 \text{)}$$

Véase también las Normas EN 1991, hasta EN 1999 para los valores  $\gamma$  a emplear para deformaciones exteriores.

NOTA 3 – Los valores característicos de todas las acciones permanentes del mismo origen se multiplican por  $\gamma_{G,sup}$  si el efecto de la acción total que resulte es desfavorable, y  $\gamma_{G,inf}$  si el efecto de la acción total que resulte es favorable. Por ejemplo, todas las acciones derivadas del peso propio de la estructura pueden considerarse como procedentes de un mismo origen; esto es también aplicable si afecta a diferentes materiales.

NOTA 4 – Para casos concretos de verificaciones, los valores de  $\gamma_G$  y  $\gamma_Q$  pueden subdividirse en  $\gamma_g$  y  $\gamma_q$  y el coeficiente  $\gamma_{sd}$  del modelo de incertidumbre. Un valor de  $\gamma_{sd}$  en el rango de 1,05 y 1,15 puede emplearse en la mayoría de los casos comunes y puede modificarse en el anexo nacional.

**Tabla A.1.2(C)**  
**Valores de cálculo de las acciones (STR/GEO) (Conjunto C)**

Situaciones de proyecto permanentes y transitorias	Acciones permanentes		Acción variable(*) predominante	Acciones variables de acompañamiento*	
	Desfavorables	Favorables		Principal (si hubiera alguna)	Otras
Ecuación 6.10	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} G_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(*) Las acciones variables son aquellas tomadas en consideración en la tabla A.1.1 NOTA 1 – Los valores $\gamma$ pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados de $\gamma$ son: $\gamma_{Gj,sup} = 1,00$ $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$ $\gamma_{Q,1} = 1,30$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,30$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)					

#### A.1.3.2 Valores de cálculo de las acciones en situaciones de proyecto accidentales y sísmicas

(1) Los coeficientes parciales de las acciones para los estados límite últimos en las situaciones de proyecto accidentales y sísmicas (expresiones 6.11 a 6.12b) deberían ser 1,00. Los valores de  $\psi$  se dan en la tabla A.1.1.

NOTA – Para la situación de proyecto sísmica véase también la Norma EN 1998.

**Tabla A.1.3**  
**Valores de cálculo de las acciones para uso en combinaciones de acciones accidentales y sísmicas**

Situación de proyecto	Acciones permanentes		Acción accidental o sísmica predominante	Acciones variables (**) de acompañamiento	
	Desfavorables	Favorables		Principal (si hubiera alguna)	Otras
Accidental (*) (Ec. 6.11a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_d$	$\psi_{11} \text{ o } \psi_{21} Q_{k1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Sísmica (Ec. 6.12a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\gamma A_{Ek} \text{ o } A_{Ed}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	
(*) En el caso de situaciones de proyecto accidentales, la acción variable principal puede tomarse con sus valores frecuentes o, como en las combinaciones sísmicas de acciones, su valores casi-frecuentes. La elecciones hace en el anexo nacional, dependiendo de la acción accidental en consideración. Véase también la Norma EN 1991-1-2.					
(**) Las acciones variables son aquellas tomadas en consideración en la tabla A.1.1					

#### A.1.4 Estados límite de servicio

##### A.1.4.1 Coeficientes parciales de las acciones

(1) Para los estados límite de servicio los coeficientes parciales de las acciones deberían tomarse como 1,0 excepto si se especifica otra cosa en las Normas EN 1991, hasta EN 1999.



**Tabla A.1.4**  
**Valores de cálculo de las acciones para uso en combinaciones de acciones**

Combinación	Acciones permanentes $G_d$		Acciones variables $Q_d$	
	Desfavorables	Favorables	Predominante	Otras
Característica	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Frecuente	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Cuasi permanente	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

#### **A.1.4.2 Criterios de aptitud al servicio**

(1) Los estados límite de servicio en los edificios deberían tener en cuenta criterios relacionados, por ejemplo, con la rigidez de los forjados, las diferencias de nivel de los forjados, los desplazamientos horizontales de los pisos y/o de los edificios y la rigidez de la cubierta. Los criterios de rigidez pueden expresarse en términos de limitaciones a las deformaciones verticales y a las vibraciones. Los criterios de deformación transversal pueden expresarse en términos de limitaciones a los desplazamientos horizontales.

(2) Los criterios de aptitud al servicio deberían especificarse para cada proyecto y acordarse con el cliente.

NOTA – Los criterios de aptitud al servicio pueden ser definidos en el anexo nacional.

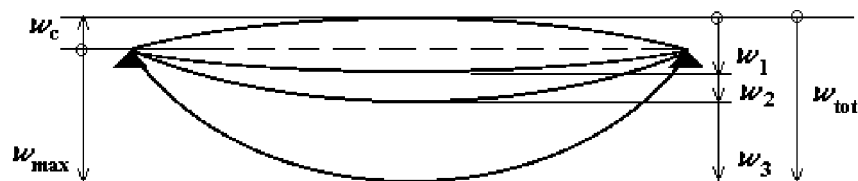
(3)P Los criterios de aptitud al servicio para deformaciones y vibraciones deben definirse:

- según el uso previsto;
- en relación con los requisitos de aptitud al servicio de acuerdo con el apartado 3.4;
- con independencia de los materiales empleados en soportar el elemento estructural.

#### **A.1.4.3 Deformaciones y desplazamientos horizontales**

(1) Las deformaciones verticales y horizontales deberían calcularse de acuerdo con la Norma EN 1992, hasta 1999, mediante el empleo de las combinaciones de acciones adecuadas de acuerdo con las expresiones (6.14a) a la (6.16b) teniendo en cuenta los requisitos de aptitud al servicio dados en el apartado 3.4(1). Se debería dar especial atención a la distinción entre estados límite reversibles e irreversibles.

(2) La figura A.1.1 representa de forma esquemática las flechas verticales.



#### Leyenda

$w_c$	Contra-flecha en el elemento estructural sin carga
$w_1$	Parte inicial de la flecha bajo cargas permanentes de la correspondiente combinación de acciones de acuerdo con las expresiones (6.14a) a la (6.16b)
$w_2$	Parte a largo plazo de la flecha bajo cargas permanentes
$w_3$	Parte adicional de la flecha debida a las acciones variables de la correspondiente combinación de acciones de acuerdo con las expresiones (6.14a) a la (6.16b)
$w_{tot}$	Flecha total suma de $w_1$ , $w_2$ y $w_3$
$w_{max}$	Flecha total aparente teniendo en cuenta la contra-flecha.

**Fig. A.1.1 – Definiciones de las flechas verticales**

(3) Cuando se considere el funcionamiento o el daño de la estructura, de los acabados o de los elementos no estructurales (por ejemplo, tabiques, chapados) la verificación de la flecha debería tener en cuenta aquellos efectos de las acciones permanentes y variables que tienen lugar después de la ejecución del elemento o acabado en cuestión.

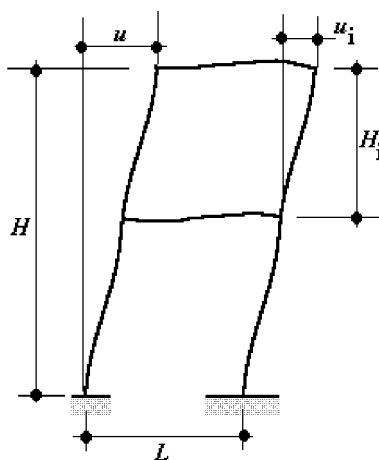
NOTA – Asistencia sobre cuál de las expresiones (6.14a) a la (6.16b) emplear se puede encontrar en el apartado 6.5.3 y en las Normas EN 1992, hasta EN 1999.

(4) Si se toma en consideración la apariencia de la estructura, se debería emplear la combinación casi-permanente (expresión (6.16b)).

(5) Si se consideran la comodidad del usuario, o el funcionamiento de la maquinaria, la verificación debería tener en cuenta los efectos de las correspondientes acciones variables.

(6) Las deformaciones a largo plazo debidas a la retracción, la relajación o la fluencia, deberían tomarse en consideración cuando corresponda, y calcularse empleando los efectos de las acciones permanentes y los valores casi-permanentes de las acciones variables.

(7) La figura A.1.2 representa de forma esquemática los desplazamientos horizontales.



#### Leyenda

- $u$  Desplazamiento horizontal total en toda la altura  $H$  del edificio
- $u_i$  Desplazamiento horizontal a la altura  $H_i$  de una planta

**Fig. A.1.2 – Definición de los desplazamientos horizontales**

#### A.1.4.4 Vibraciones

(1) Para conseguir un comportamiento satisfactorio del edificio y sus elementos estructurales a la vibración bajo condiciones de aptitud al servicio, se deberían tomar en consideración, entre otros, los siguientes aspectos:

- a) la comodidad del usuario;
- b) el funcionamiento de la estructura o de sus elementos estructurales (por ejemplo, grietas en las particiones, daños al chapado, sensibilidad a la vibración de los contenidos del edificio).

Otros aspectos deberían tomarse en consideración en cada proyecto y acordarse con el cliente.

(2) Para que no se supere el estado límite de servicio de la estructura o de un elemento estructural que sea sometido a vibraciones, la frecuencia natural de las vibraciones de la estructura o del elemento estructural debería mantenerse por encima de los valores apropiados que dependen de la función del edificio y de la fuente de la vibración, y acordarse con el cliente y/o la autoridad correspondiente.

(3) Si la frecuencia natural de las vibraciones de la estructura es inferior al valor apropiado, debería llevarse a cabo un análisis más refinado de la respuesta dinámica de la estructura, incluyendo la consideración del amortiguamiento.

NOTA – Para mayor información, véanse las Normas EN 1991-1-1, EN 1991-1-4 e ISO 10 137.

(4) Las posibles fuentes de vibraciones que deberían tomarse en consideración incluyen el andar, los movimientos sincronizados de la gente, la maquinaria, las vibraciones generadas en el terreno por el tráfico y las acciones del viento. Estas y otras fuentes deberían ser especificadas en cada proyecto y acordadas con el cliente.

**ANEXO B (Informativo)****GESTIÓN DE LA FIABILIDAD ESTRUCTURAL EN LAS CONSTRUCCIONES****B.1 Objeto y campo de aplicación**

(1) Este anexo suministra orientación adicional al apartado 2.2 (Gestión de la fiabilidad) y a los apartados adecuados de las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

NOTA – Las reglas de diferenciación de la fiabilidad han sido especificadas en aspectos concretos en los Eurocódigos de cálculo, por ejemplo, en las Normas EN 1992, EN 1993, EN 1996, EN 1997 y EN 1998.

(2) El enfoque dado en este anexo, recomienda los procedimientos siguientes para la gestión de la fiabilidad estructural de las construcciones (con respecto a los ELUs, excluyendo la fatiga):

a) en relación con el apartado 2.2(5)b, se introducen clases basadas en las consecuencias de fallo aceptadas y en la exposición de las construcciones a los riesgos. B.3 establece un procedimiento que permite la diferenciación moderada de los coeficientes parciales de las acciones y las resistencias que corresponden a las clases.

NOTA – La clasificación de fiabilidad puede representarse mediante los índices  $\beta$  (véase el anexo C) que tienen en cuenta la variabilidad estadística supuesta o aceptada de los efectos de las acciones y resistencias e incertidumbres del modelo.

b) en relación con el apartado 2.2(5)c y 2.2(5)d, B.4 y B.5 establecen un procedimiento que permite la diferenciación en los requisitos para los niveles de calidad del proceso de proyecto y ejecución entre los varios tipos de construcciones.

NOTA – Estas medidas de gestión y control de la calidad en el proyecto, los detalles constructivos y la ejecución que se dan en B.4 y B.5 tienden a eliminar los fallos debidos a errores groseros, y asegura las resistencias asumidas en el proyecto.

(3) El procedimiento ha sido formulado de manera que cree un marco que permita el uso de diferentes niveles de fiabilidad, si se desea.

**B.2 Símbolos**

En este anexo se aplican los siguientes símbolos:

$K_{FI}$  Coeficiente aplicable a las acciones para la diferenciación de la fiabilidad.

$\beta$  Índice de fiabilidad.

**B.3 Diferenciación de la fiabilidad****B.3.1 Clases de consecuencias**

(1) A los efectos de la diferenciación de la fiabilidad, se pueden establecer clases de consecuencias (CC) mediante la consideración de las consecuencias de los fallos o funcionamiento defectuoso de la estructura dadas en la tabla B.1.

**Tabla B.1**  
**Definición de las clases de consecuencias**

Clases de consecuencias	Descripción	Ejemplos de edificios y obras de ingeniería civil
CC3	<b>Consecuencia grave</b> de pérdida de vidas humanas; o consecuencias económicas, sociales o medio ambientales <b>muy importantes</b>	Estadios, edificios en que las consecuencias de un fallo son graves (por ejemplo, una sala de conciertos)
CC2	<b>Consecuencia moderada</b> de pérdida de vidas humanas; o consecuencias económicas, sociales o medioambientales <b>considerables</b>	Edificios residenciales y de oficinas, edificios públicos donde las consecuencias de un fallo son moderadas (por ejemplo, un edificio de oficinas)
CC1	<b>Consecuencia leve</b> de pérdida de vidas humana y consecuencias económicas, sociales o medioambientales <b>mínimas o despreciables</b>	Edificios agrícolas en los que la gente no entra normalmente (por ejemplo, almacenes) invernaderos

(2) El criterio para clasificación de las consecuencias es la importancia, en términos de consecuencia, de los fallos de la estructura o de los elementos estructurales en cuestión. Véase B.3.3.

(3) Dependiendo de la forma estructural y de las decisiones tomadas durante el proyecto, elementos concretos de la estructura pueden venir designados en la misma clase o en una alta o más baja que la de la estructura completa.

NOTA – En estos momentos los requisitos de fiabilidad están relacionados con los elementos estructurales de las construcciones.

### B.3.2 Diferenciación mediante los valores $\beta$

(1) Las clases de fiabilidad (CR) pueden venir definidos mediante el concepto de los índices  $\beta$  de fiabilidad.

(2) Hay tres clases de fiabilidad CR1, CR2 y CR3 que pueden estar asociadas con las tres clases de consecuencias CC1, CC2 y CC3.

(3) La tabla B.2 da los valores mínimos recomendados para el índice de fiabilidad asociado con las clases de fiabilidad (véase también el anexo C).

**Tabla B.2**  
**Valores mínimos recomendados para el índice de fiabilidad  $\beta$  (estados límite últimos)**

Clases de fiabilidad	Valores mínimos de $\beta$	
	Periodo de referencia de 1 año	Periodo de referencia de 50 años
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

NOTA – Un proyecto que use la Norma EN 1990 con los coeficientes parciales dados en el anexo A.1 y las Normas EN 1991, hasta EN 1999, es considerado que conduce generalmente a una estructura con un valor  $\beta$  mayor que 3,8 para un periodo de referencia de 50 años. Las clases de fiabilidad para los elementos de la estructura por encima de RC3 no son tratados en este anexo, ya que estas estructuras necesitan cada una de ellas un tratamiento individualizado.

### B.3.3 Diferenciación mediante medidas relacionadas con los coeficientes parciales

(1) Una forma de conseguir diferenciación de la fiabilidad es mediante la distinción de clases de coeficientes  $\gamma_F$  para su uso en combinaciones fundamentales de situaciones de proyecto permanentes. Por ejemplo, para la misma supervisión y niveles de inspección de la ejecución, se puede aplicar a los coeficientes parciales un coeficiente  $K_{FI}$  de multiplicación. Véase la tabla B.3.

**Tabla B.3**  
**Coeficiente  $K_{FI}$  para las acciones**

Coeficiente $K_{FI}$ para las acciones	Clases de fiabilidad		
	RC1	RC2	RC3
$K_{FI}$	0,9	1,0	1,1

NOTA – En particular, para la clase RC3, se prefieren otras medidas descritas en este anexo al uso de los coeficientes  $K_{FI}$ .  $K_{FI}$  se debería aplicar sólo con acciones desfavorables.

(2) La diferenciación de la fiabilidad puede aplicarse también a través de coeficientes parciales sobre la resistencia  $\gamma_M$ . Sin embargo, esto no se usa normalmente. Una excepción se tiene en relación con la verificación a fatiga (véase la Norma EN 1993). Véase también el capítulo B.6.

(3) Las medidas de acompañamiento, por ejemplo el nivel de control de calidad para el proyecto y la ejecución de la estructura, pueden asociarse a las clases de  $\gamma_F$ . En este anexo, se ha adoptado un sistema de tres niveles para el control durante el proyecto y la ejecución. Se sugieren niveles de supervisión de proyecto y niveles de inspección asociados a las clases de fiabilidad.

(4) Pueden haber casos (por ejemplo, postes de iluminación, mástiles, etc.) en que, por razones de economía, la estructura puede encontrarse en RC1, pero verse sometida a niveles de supervisión de proyecto e inspección más altos de lo que le corresponde.

### B.4 Diferenciación mediante la supervisión del proyecto

(1) La diferenciación mediante la supervisión del proyecto consiste en varias medidas de organización del control de calidad que pueden usarse juntas. Por ejemplo, la definición del nivel de supervisión del proyecto (B.4(2)) puede usarse junto con otras medidas tales como clasificación de proyectistas y autoridades de control (B.4(3)).

(2) Tres niveles posibles de supervisión de proyecto (DSL/(NSP)) se recogen en la tabla B.4. Los niveles de supervisión de proyecto pueden estar ligados con la clase de fiabilidad seleccionada o escogida de acuerdo con la importancia de la estructura y de acuerdo con los requisitos nacionales o el pliego del proyecto, y puesto en práctica mediante medidas de gestión de la calidad apropiadas. Véase en apartado 2.5.

**Tabla B.4**  
**Niveles de supervisión del proyecto (DSL)**

Niveles de supervisión del proyecto	Características	Requisitos mínimos recomendados para la revisión de los cálculos, dibujos y especificaciones
DSL3/(NSP3) Relacionado con RC3	Supervisión ampliada	Revisión por tercera parte: Comprobación realizada por una organización diferente a la que ha realizado el proyecto
DSL2/(NSP2) Relacionado con RC2	Supervisión normal	Revisión por persona distinta a aquellos inicialmente responsables y de conformidad con el procedimiento de la organización.
DSL1/(NSP1) Relacionado con RC1	Supervisión normal	Auto-control: Comprobación llevada a cabo por la misma persona que preparó el proyecto.

(3) La diferenciación de la supervisión del proyecto puede también incluir una clasificación de proyectistas y/o inspectores de proyectos (revisores, autoridades de control, etc.) dependiendo de su competencia y experiencia, su organización interna, según el tipo correspondiente de construcciones proyectadas.

NOTA – El tipo de construcciones, los materiales empleados y las formas de la estructura pueden afectar a esta clasificación.

(4) De forma alternativa, la diferenciación de la supervisión del proyecto puede consistir en una evaluación detallada más refinada de la naturaleza y magnitud de las acciones que la estructura debe resistir, o de un sistema de gestión de las cargas de cálculo para controlar (restringir) estas acciones de forma activa o pasiva.

## **B.5 Inspección durante la ejecución**

(1) Se pueden introducir tres niveles de inspección (IL/(NI)) como se refleja en la tabla B.5. Los niveles de inspección pueden estar ligados a las clases de gestión de la calidad seleccionadas y puestas en práctica mediante medidas de gestión de la calidad apropiadas. Véase el apartado 2.5. Se puede obtener más información en las correspondientes normas de ejecución citadas en las Normas EN 1992, hasta EN 1996 y en la Norma EN 1999.

**Tabla B.5**  
**Niveles de inspección (IL/(NI))**

Niveles de inspección	Características	Requisitos
IL3/(NI3) Relacionado con RC3	Inspección ampliada	Inspección por tercera parte
IL2/(NI2) Relacionado con RC2	Inspección normal	Inspección de acuerdo con los procedimientos de la organización
IL1/(NI1) Relacionado con RC1	Inspección normal	Auto-inspección

NOTA – Los niveles de inspección definen los temas que deben cubrirse en la inspección de productos y la ejecución de las obras, incluyendo el alcance de la inspección. Las reglas variarán de esta forma de un material estructural a otro y no tiene por qué darse en las normas de ejecución correspondientes.

**B.6 Coeficientes parciales de las propiedades de resistencia**

(1) Un coeficiente parcial de un material o una propiedad de un producto o la resistencia de un elemento puede reducirse si se usa una clase de inspección más alta que la requerida de acuerdo con la tabla B.5 y/o se emplean requisitos más severos.

NOTA 1 – Para verificar la eficacia mediante ensayo, véase el capítulo 5 y el anexo D.

NOTA 2 – Las reglas para los distintos materiales pueden venir dadas o referenciadas en las Normas EN 1991, hasta EN 1999.

NOTA 3 – Tal reducción, que permite por ejemplo incertidumbres del modelo y variación dimensional, no es una mediada de diferenciación de la fiabilidad: sólo es una medida compensatoria para mantener el nivel de fiabilidad dependiente de la eficacia de las medidas de control.



## ANEXO C (Informativo)

### BASES PARA EL CÁLCULO CON COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD Y ANÁLISIS DE LA FIABILIDAD

#### C.1 Objeto y campo de aplicación

(1) Este anexo contiene la información y la base teórica del método de los coeficientes parciales descrito en el capítulo 6 y en el anexo A. Este anexo es también una base de introducción al anexo D, y está relacionado con el contenido del anexo B.

(2) Este anexo también contiene información sobre:

- los métodos de fiabilidad estructural;
- la aplicación del método basado en la fiabilidad para determinar mediante calibración de los valores de cálculo y/o coeficientes parciales en las expresiones de cálculo;
- los formatos para la verificación del cálculo de los Eurocódigos.

#### C.2 Símbolos

Los siguientes símbolos son de aplicación en este anexo:

##### *Letras latinas mayúsculas*

$P_f$  probabilidad de fallo

Prob(.) probabilidad

$P_s$  probabilidad de supervivencia

##### *Letras latinas minúsculas*

$a$  propiedad geométrica

$g$  función de prestación

##### *Letras griegas mayúsculas*

$\Phi$  función de distribución acumulada de la distribución normal estandarizada

##### *Letras griegas minúsculas*

$\alpha_E$  coeficiente de sensibilidad del FORM/(MFPO) (Método de fiabilidad de primer orden) para los efectos de las acciones

$\alpha_R$  coeficiente de sensibilidad del FORM/(MFPO) (Método de fiabilidad de primer orden) para la resistencia

$\beta$  índice de fiabilidad

$\theta$  incertidumbre del modelo

$\mu_X$  valor medio de X

$\sigma_X$  desviación estándar de  $X$

$V_X$  coeficiente de variación de  $X$

### C.3 Introducción

(1) En el método de los coeficientes parciales, se dan valores de cálculo a las variables básicas (es decir, acciones, resistencias y propiedades geométricas) mediante el uso de coeficientes parciales y coeficientes  $\psi$ , y se efectúa una verificación para asegurarse que no ha sido superado ningún estado límite pertinente.

NOTA – El capítulo 6 describe los valores de cálculo de las acciones y de los efectos de las acciones, y los valores de cálculo de las propiedades de los materiales o los productos y los datos geométricos.

(2) Como principio, los valores numéricos de los coeficientes parciales y de los coeficientes  $\psi$  pueden determinarse de cualquiera de las dos maneras:

a) Sobre la base de calibración a una larga experiencia de tradición de la edificación

NOTA – Para la mayoría de los coeficientes parciales y de los coeficientes  $\psi$  propuestos en los Eurocódigos disponibles hasta la fecha, este es el principio predominante.

b) Sobre la base de evaluación estadística de datos experimentales y observaciones de campo. (Esto debería llevarse a cabo dentro del marco de una teoría probabilística de la fiabilidad).

(3) Cuando se emplee el método (2)b, bien individualmente bien en combinación con el método (2)a, se deberían de calibrar los coeficientes parciales de los estados límite últimos para distintos materiales y acciones de forma que los niveles de fiabilidad de las estructuras representativas estén lo más próximos posible al índice de fiabilidad deseado. Véase C.6.

### C.4 Revisión de los métodos de fiabilidad

(1) La figura C.1 representa una visión general en forma de diagrama de los diversos métodos disponibles para la calibración de las ecuaciones de cálculo por el método del coeficiente parcial (estados límite) y la relación entre ellos.

(2) Los procedimientos probabilísticos de calibración de los coeficientes parciales pueden subdividirse en dos clases de métodos principales:

- métodos totalmente probabilísticos (Nivel III), y
- métodos de fiabilidad de primer orden (FORM/(MFPO))(Nivel II).

NOTA 1 – Los métodos totalmente probabilísticos (Nivel III) dan en principio respuestas correctas a los problemas planteados de fiabilidad. Los métodos de nivel III se usan poco en la calibración de códigos de cálculo por la frecuente escasez de datos estadísticos.

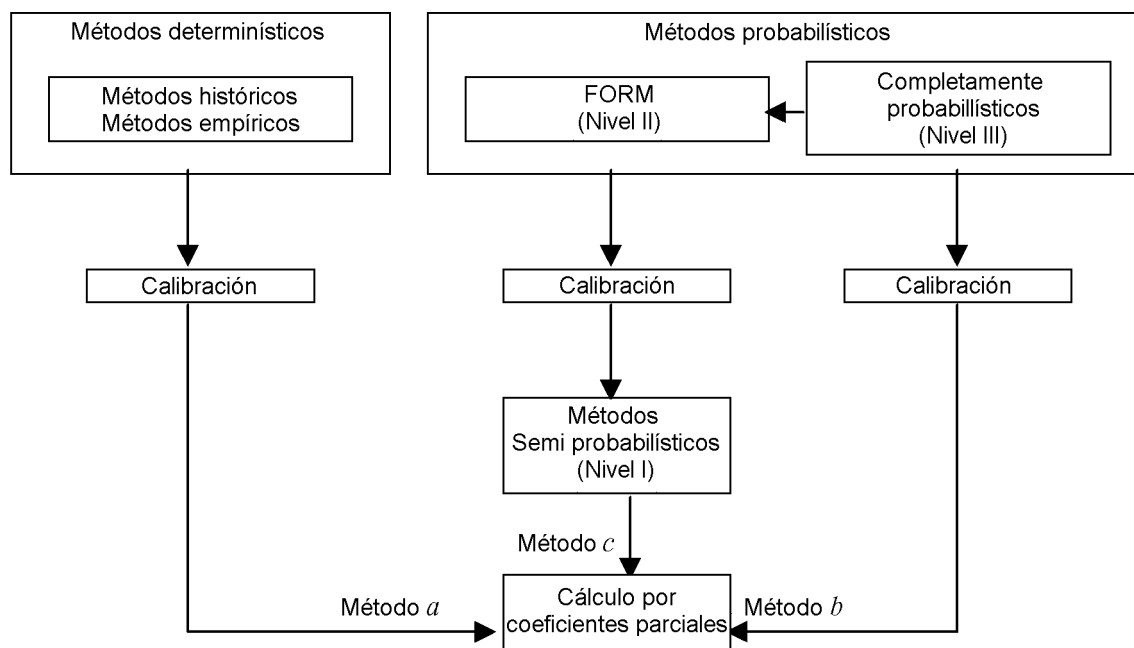
NOTA 2 – Los métodos de nivel II hacen uso de ciertas aproximaciones bien definidas y conducen a resultados que en la mayoría de aplicaciones estructurales pueden considerarse como suficientemente precisos.

(3) Tanto en los métodos de nivel II como en los de nivel III la medida de la fiabilidad debería identificarse con la probabilidad de supervivencia  $P_s = (1 - P_f)$ , en que  $P_f$  es la probabilidad de fallo del modo de fallo considerado y dentro de un periodo de referencia apropiado. Si la probabilidad de fallo calculada es mayor que un valor objetivo preestablecido  $P_0$ , entonces la estructura debería considerarse como insegura.

NOTA – La "probabilidad de fallo" y su correspondiente índice de fiabilidad (véase C.5) son sólo valores nominales que no representan necesariamente las tasas de fallo reales pero que se emplean como valores operativos para la calibración de códigos y la comparación de los niveles de fiabilidad de las estructuras.

(4) Los Eurocódigos se han basado principalmente en el método a) (véase la figura C.1). El método c u otros métodos equivalentes han sido empleados para el desarrollo posterior de los Eurocódigos.

NOTA – Un ejemplo de un método equivalente es el del cálculo asistido por ensayos.



**Fig. C.1 – Revisión de los métodos de fiabilidad**

### C.5 Índice de fiabilidad $\beta$

(1) En los procedimientos de nivel II, se define convencionalmente una medida alternativa de la fiabilidad mediante el índice de fiabilidad  $\beta$  que está relacionado con  $P_f$  por:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (C.1)$$

En que  $\Phi$  es la función de distribución acumulada de la distribución normal estandarizada. La relación entre  $\Phi$  y  $\beta$  se da en (puede deducirse de) la tabla C.1.

**Tabla C.1**  
**Relación entre  $\beta$  y  $P_f$**

$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
$\beta$	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

(2) La probabilidad de fallo  $P_f$  puede expresarse mediante una función de comportamiento  $g$  tal que una estructura se considera que sobrevive si  $g > 0$  y que falla si  $g \leq 0$ :

$$P_f = \text{Prob}(g \leq 0) \quad (C.2a)$$

Si  $R$  es la resistencia y  $E$  el efecto de la acción, la función de comportamiento es:

$$g = R - E \quad (\text{C.2b})$$

(3) Si  $g$  tiene una distribución normal,  $\beta$  se toma como:

$$\beta = \mu_g / \sigma_g \quad (\text{C.2c})$$

donde

$\mu_g$  es el valor medio de  $g$ , y

$\sigma_g$  es la desviación estándar

de forma que:

$$\mu_g - \beta \sigma_g = 0 \quad (\text{C.2d})$$

y

$$P_f = \text{Prob}(g \leq 0) = \text{Prob}(g \leq \mu_g - \beta \sigma_g) \quad (\text{C.2e})$$

Para otras distribuciones de  $g$ ,  $\beta$  es sólo una medida convencional de la fiabilidad

$$P_s = (1 - P_f).$$

## C.6 Valores objetivo del índice de fiabilidad $\beta$

(1) Los valores objetivo del índice de fiabilidad  $\beta$  para varias situaciones de proyecto, y para los periodos de referencia de 1 año y 50 años, se presentan en la tabla C.2. Los valores de  $\beta$  en la tabla C.2 corresponden a niveles de seguridad para elementos estructurales de la clase de fiabilidad RC2 (Véase el anexo B).

NOTA 1 – Para estas evaluaciones de  $\beta$

- Las distribuciones Log-normales o de Weibull se utilizan habitualmente para los parámetros de resistencia estructural y de materiales y las incertidumbres del modelo.
- Las distribuciones normales se suelen utilizar para el peso propio.
- Para verificaciones que no incluyen la fatiga se han utilizado distribuciones normales para las acciones variables para simplificar. Distribuciones de Extremos serían más apropiadas.

NOTA 2 – Cuando la mayor incertidumbre proviene de las acciones que tienen máximos anuales estadísticamente independientes, los valores de  $\beta$  para un periodo de referencia diferente pueden calcularse empleando la siguiente expresión:

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n \quad (\text{C.3})$$

donde

$\beta_n$  es el índice de fiabilidad para un período de referencia de  $n$  años;

$\beta_1$  es el índice de fiabilidad para un año.

**Tabla C.2**  
**Índices objetivo de fiabilidad  $\beta$  para elementos estructurales <sup>1)</sup> de clase RC2**

Estado límite	Índice objetivo de fiabilidad	
	1 año	50 años
último	4,7	3,8
de fatiga	–	1,5 a 3,8 <sup>2)</sup>
de servicio (irreversible)	2,9	1,5
1) Véase el anexo B.		
2) Depende del grado de aptitud a la inspección, a la reparación y de la tolerancia a los daños.		

(2) La frecuencia real de fallo depende significativamente del error humano, que no se considera en el método de los coeficientes parciales (véase anexo B). Por esta razón,  $\beta$  no indica necesariamente la frecuencia real de fallos estructurales.

### C.7 Aproximación a la calibración de los valores de cálculo

(1) En el método de los valores de cálculo para la verificación de la fiabilidad (véase la figura C.1), los valores de cálculo no necesitan ser definidos para todas las variables fundamentales. Se considera que un diseño es suficiente si los estados límite no son alcanzados cuando los valores de cálculo se introducen en los modelos de análisis. En notación simbólica esto se expresa como:

$$E_d < R_d \quad (C.4)$$

Donde el subíndice "d" se refiere a los valores de cálculo. Ésta es la forma práctica de asegurar que el índice de fiabilidad  $\beta$  es igual o mayor que el valor objetivo.

$E_d$  y  $R_d$  pueden expresarse en forma parcialmente simbólica como:

$$E_d = E \{ F_{d1}, F_{d2}, \dots, a_{d1}, a_{d2}, \dots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots \} \quad (C.5a)$$

$$R_d = R \{ X_{d1}, X_{d2}, \dots, a_{d1}, a_{d2}, \dots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots \} \quad (C.5b)$$

donde

$E$  es el efecto de la acción;

$R$  es la resistencia;

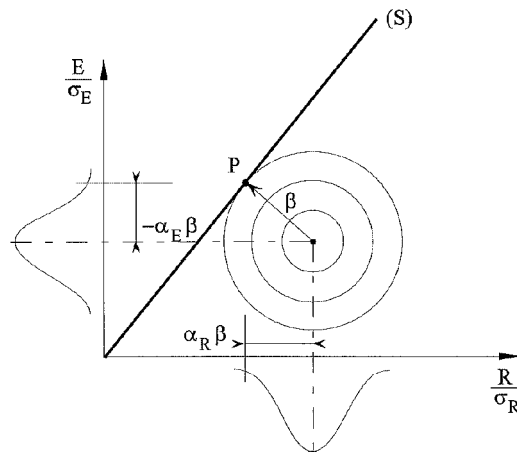
$F$  es una acción;

$X$  es una propiedad de un material;

$a$  es una propiedad geométrica;

$\theta$  es la incertidumbre del modelo.

Para estados límite concretos (por ejemplo, fatiga) puede ser necesaria una formulación más general para expresar el estado límite.



(s): Frontera del dominio de fallo  $g = R - E = 0$   
P: Punto de cálculo

**Fig. C.2 – Punto característico e índice de fiabilidad  $\beta$  de acuerdo con el método de fiabilidad de primer orden (FORM/(MFPO)) para variables no correlacionadas con distribución normal**

(2) Los valores de cálculo deberían basarse en los valores de las variables fundamentales en el punto de cálculo del FORM/(MFPO), que puede ser definido como el punto de la superficie de fallo ( $g = 0$ ) más próximo al punto medio en el espacio de las variables normalizadas (como se indica en forma de diagrama en la figura C.2).

(3) Los valores de cálculo de los efectos de las acciones  $E_d$  y resistencias  $R_d$  deberían definirse de forma que la probabilidad de tener un valor más desfavorable sea como se indica a continuación:

$$P(E > E_d) = \Phi(+\alpha_E \beta) \quad (C.6a)$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-\alpha_R \beta) \quad (C.6b)$$

donde

$\beta$  es el índice de fiabilidad objetivo (véase C.6)

$\alpha_E$  y  $\alpha_R$  con  $|\alpha| \leq 1$ , son los valores de los coeficientes de sensibilidad del FORM/(MFPO). El valor de  $\alpha$  es negativo para las acciones y efectos de las acciones desfavorables, y positivo para las resistencias.

$\alpha_E$  y  $\alpha_R$  pueden tomarse como  $-0,7$  y  $0,8$ , respectivamente, siempre que:

$$0,16 < \sigma_E/\sigma_R < 7,6 \quad (C.7)$$

en donde  $\sigma_E$  y  $\sigma_R$  son las desviaciones estándar del efecto de las acciones y de la resistencia, respectivamente, en las expresiones (C.6a) y (C.6b). Esto da:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,7\beta) \quad (C.8a)$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-0,8\beta) \quad (C.8b)$$

(4) Cuando no se satisface la condición (C.7), debería usarse  $\alpha = \pm 1,0$  con la variable con la mayor desviación estándar, y  $\alpha = \pm 0,4$  con la variable con la menor desviación estándar.

(5) Cuando el modelo de acción contenga varias variables fundamentales, se debería emplear la expresión (C.8a) con la variable predominante solamente. Para las acciones de acompañamiento, los valores de cálculo pueden definirse por:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,4 \times 0,7 \times \beta) = \Phi(-0,28\beta) \quad (C.9)$$

NOTA – Para  $\beta = 3,8$  los valores definidos por la expresión (C.9) corresponden aproximadamente al fractil 0,90.

(6) Las expresiones que se dan en la tabla C.3 deberían utilizarse para deducir los valores de cálculo de las variables con la distribución de probabilidad dada.

**Tabla C.3**  
**Valores de cálculo para varias funciones de distribución**

Distribución	Valores de cálculo
Normal	$\mu - \alpha\beta\sigma$
Log-normal	$\mu \exp(-\alpha\beta V)$ para $V = \sigma/\mu < 0,2$
Gumbel	$u - \frac{1}{a} \ln \{-\ln \Phi(-\alpha\beta)\}$ <p>donde <math>u = \mu - \frac{0,577}{a}</math>; <math>a = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}</math></p>

NOTA – En estas expresiones,  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $V$  son, respectivamente, el valor medio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de una variable dada. Para acciones variables, éstas se deberían basar en el mismo periodo de referencia que para  $\beta$ .

(7) Un método para obtener el coeficiente parcial pertinente es el de dividir el valor de cálculo de una acción variable por su valor representativo o su valor característico.

## C.8 Formatos de verificación de la fiabilidad en los Eurocódigos

(1) En las EN 1991 a EN 1999 los valores de cálculo de las variables básicas no se introducen directamente, en general, en las ecuaciones de cálculo de los coeficientes parciales. Se introducen en términos de sus valores representativos  $X_{rep}$  y  $F_{rep}$ , que pueden ser:

- valores característicos, es decir, valores con una probabilidad establecida o prevista de ser superados, por ejemplo, en acciones, propiedades de materiales y propiedades geométricas (véanse los apartados 1.5.3.14, 1.5.4.1 y 1.5.5.1, respectivamente);
- valores nominales, que son tratados como valores característicos de las propiedades de los materiales (véase el apartado 1.5.4.3) y como valores característicos de las propiedades geométricas.

(2) Los valores representativos  $X_{rep}$  y  $F_{rep}$ , deberían dividirse y/o multiplicarse, respectivamente, por los coeficientes parciales apropiados para obtener los valores de cálculo  $X_d$  y  $F_d$ .

NOTA – Véase también la expresión (C.10).

(3) Los valores de cálculo de las acciones  $F$ , de las propiedades de los materiales  $X$  y de las propiedades geométricas  $a$ , se dan en las expresiones (6.1), (6.3) y (6.4), respectivamente.

Cuando se use un valor superior como resistencia de cálculo (véase el apartado 6.3.3), la expresión (6.3) toma la siguiente forma:

$$X_d = \eta \gamma_{fM} X_{k,sup} \quad (C.10)$$

Donde  $\gamma_{fM}$  es un coeficiente apropiado mayor que 1.

NOTA – La expresión (C.10) puede utilizarse para el cálculo de la capacidad resistente.

(4) Los valores de cálculo de las incertidumbres del modelo pueden incorporarse en las expresiones de cálculo a través de los coeficientes parciales  $\gamma_{sd}$  y  $\gamma_{Rd}$  aplicados al modelo global, de forma que:

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{gj} G_{kj}; \gamma_P P; \gamma_{q1} Q_{k1}; \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ki}; a_d \dots \} \quad (C.11)$$

$$R_d = R \{ \eta X_k / \gamma_m; a_d \dots \} / \gamma_{Rd} \quad (C.12)$$

(5) El coeficiente  $\psi$  que tiene en cuenta las reducciones en los valores de cálculo de las acciones variables, se aplica como  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  o  $\psi_2$  a acciones variables de acompañamiento que ocurren simultáneamente.

(6) Se pueden hacer las siguientes simplificaciones a las expresiones (C.11) y (C. 12) cuando fuese necesario.

a) En el lado de las cargas (para una acción aislada o cuando exista linealidad en los efectos de las acciones):

$$E_d = E \{ \gamma_{f,i} F_{rep,i}, a_d \} \quad (C.13)$$

b) En el lado de la resistencia el formato general viene dado en las expresiones (6.6), pueden darse otras simplificaciones en el Eurocódigo del material correspondiente. Las simplificaciones sólo se deberían hacer si no se reduce el nivel de fiabilidad.

NOTA – Los modelos no lineales de resistencia y acciones y los modelos multi-variables de acciones o de resistencia, se encuentran muy a menudo en los Eurocódigos. En tales casos, las relaciones dadas anteriormente se hacen más complejas.

## C.9 Coeficientes parciales en la Norma EN 1990

(1) Los diferentes coeficientes parciales disponibles en la Norma EN 1990 se definen en el apartado 1.6

(2) La relación entre los diferentes coeficientes parciales en los Eurocódigos se muestra en la figura C.3.



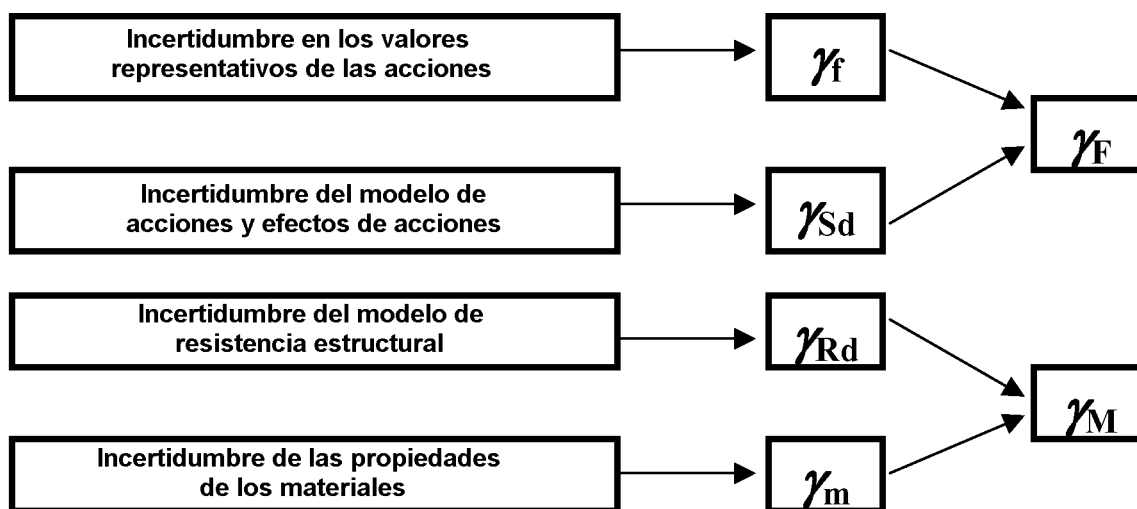


Fig. C.3 – Relación entre los deferentes coeficientes parciales

#### C.10 Coeficientes $\psi_0$

(1) La tabla C.4 presenta expresiones para obtener los coeficiente  $\psi_0$  (véase el capítulo 6) en el caso de dos acciones variables.

(2) Las expresiones de la tabla C.4 han sido deducidas empleando las siguientes consideraciones y condiciones:

- las dos acciones a combinar son independientes entre sí;
- el periodo básico ( $T_1$  o  $T_2$ ) de cada acción es constante; siendo  $T_1$  el periodo básico mayor;
- los valores de las acciones son constantes dentro de sus respectivos periodos básicos;
- las intensidades de una acción entre periodos básicos no están correlacionadas;
- las dos acciones pertenecen a procesos ergódicos.

(3) Las funciones de distribución en la tabla C.4 se refieren a los máximos dentro del periodo de referencia  $T$ . Estas funciones de distribución son funciones completas que toman en consideración la probabilidad de que el valor de una acción sea cero durante ciertos periodos.

**Tabla C.4**  
**Expresiones de en el caso de dos acciones variables**

Distribución	$\psi_0 = F_{\text{acompañante}}/F_{\text{predominante}}$
General	$\frac{F_s^{-1} \left\{ \Phi(0,4\beta')^{N_1} \right\}}{F_s^{-1} \left\{ \Phi(0,7\beta)^{N_1} \right\}}$ <p>con <math>\beta' = -\Phi^{-1} \left\{ \Phi(-0,7\beta) / N_1 \right\}</math></p>
Aproximación para una $N_1$ muy grande	$\frac{F_s^{-1} \left\{ \exp \left[ -N_1 \Phi(-0,4\beta') \right] \right\}}{F_s^{-1} \left\{ \Phi(0,7\beta) \right\}}$ <p>con <math>\beta' = -\Phi^{-1} \left\{ \Phi(-0,7\beta) / N_1 \right\}</math></p>
Normal (aproximación)	$\frac{1 + (0,28\beta - 0,7 \ln N_1) V}{1 + 0,7\beta V}$
Gumbel (aproximación)	$\frac{1 - 0,78 V \left[ 0,58 + \ln(-\ln \Phi(0,28\beta)) + \ln N_1 \right]}{1 - 0,78 V \left[ 0,58 + \ln(-\ln \Phi(0,7\beta)) \right]}$
<p><math>F_s(.)</math> es la función de distribución de probabilidad del valor extremo de la acción de acompañamiento en el periodo de referencia <math>T</math>;</p> <p><math>\Phi(.)</math> es la función de la distribución normal estandarizada;</p> <p><math>T</math> es el periodo de referencia</p> <p><math>T_1</math> es el mayor de los periodos de los periodos básicos de las acciones a combinar;</p> <p><math>N_1</math> es la relación <math>T/T_1</math>, redondeada al entero más próximo;</p> <p><math>\beta</math> es el índice de fiabilidad;</p> <p><math>V</math> es el coeficiente de variación de la acción de acompañamiento para el periodo de referencia.</p>	

## ANEXO D (Informativo)

### CÁLCULO ASISTIDO POR ENSAYOS

#### D.1 Objeto y campo de aplicación

(1) Este anexo aporta indicaciones sobre los apartados 3.4, 4.2 y 5.2

(2) Este anexo no pretende reemplazar las reglas de aceptación dadas en las especificaciones técnicas armonizadas europeas, otras especificaciones de producto o normas de ejecución.

#### D.2 Símbolos

Los siguientes símbolos son de aplicación en este anexo.

*Letras latinas minúsculas*

$E(.)$  Valor medio de  $(.)$

$V$  Coeficiente de variación [ $V = (\text{desviación estándar})/(\text{valor medio})$ ]

$V_x$  Coeficiente de variación de  $X$

$V_\delta$  Estimador del coeficiente de variación del término de error  $\delta$

$\underline{X}$  Conjunto de  $j$  variables básicas  $X_1, \dots, X_j$

$X_{k(n)}$  Valor característico, incluyendo la incertidumbre estadística para una muestra de tamaño  $n$  con exclusión de todo coeficiente de conversión

$\underline{X}_m$  Conjunto de valores medios de las variables básicas

$\underline{X}_n$  Conjunto de valores nominales de las variables básicas

*Letras latinas minúsculas*

$b$  coeficiente de corrección

$b_i$  coeficiente de corrección de la muestra de ensayo  $i$

$g_n(\underline{X})$  Función de resistencia (de las variables básicas  $\underline{X}$ ) usada como modelo de cálculo

$k_{d,n}$  coeficiente del fractil de cálculo

$k_n$  coeficiente de fractil característico

$m_X$  media de los resultados de  $n$  muestras

$n$  número de experimentos o resultados de ensayos numéricos

$r$  valor de la resistencia

$r_d$  valor de cálculo de la resistencia

$r_e$  valor de la resistencia experimental

$r_{ee}$	valor extremo (máximo o mínimo) de la resistencia experimental [es decir, valor de $r_e$ que más se desvía del valor medio $r_{em}$ ]
$r_{ei}$	resistencia experimental de la probeta $i$
$r_{em}$	Valor medio de la resistencia experimental
$r_k$	valor característico de la resistencia
$r_m$	valor de la resistencia calculado usando los valores medios $\underline{X}_m$ de las variables básicas
$r_n$	valor nominal de la resistencia
$r_t$	resistencia teórica determinada con la función de la resistencia $g_{rt}(\underline{X})$
$r_{ti}$	resistencia teórica de la probeta $i$ determinada usando los parámetros medidos $\underline{X}$
$s$	valor estimado de la desviación estándar $\sigma$
$s_\Delta$	Valor estimado de $\sigma_\Delta$
$s_\delta$	valor estimado de $\sigma_\delta$

*Letras griegas mayúsculas*

$\Phi$	función de la distribución acumulada de la distribución normal estandarizada
$\Delta$	logaritmo del término de error $\delta$ [ $\Delta_i = \ln(\delta_i)$ ]
$\bar{\Delta}$	valor estimado de $E(\Delta)$

*Letras griegas minúsculas*

$\alpha_E$	Coefficiente de sensibilidad del FORM/(MFPO) para efectos de las acciones
$\alpha_R$	Coefficiente de sensibilidad del FORM/(MFPO) para las resistencias
$\beta$	Índice de fiabilidad
$\gamma_M^*$	Coefficiente parcial corregido para las resistencias [ $\gamma_M^* = r_n/r_d$ o sea, $\gamma_M^* = k_c \gamma_M$ ]
$\delta$	Término de error
$\delta_i$	Término de error observado de la probeta de ensayo $i$ obtenida de la comparación entre el valor experimental de resistencia $r_{ei}$ y el valor medio de la resistencia teórica corregida $br_{ti}$
$\eta_d$	Valor de cálculo de un coeficiente de conversión posible (en tanto en cuanto no esté incluido en el coeficiente parcial de la resistencia $\gamma_M$ )
$\eta_k$	Coefficiente de reducción aplicable en el caso de información previa
$\sigma$	desviación estándar [ $\sigma = \sqrt{\text{varianza}}$ ]
$\sigma_\Delta^2$	varianza del término $\Delta$

### D.3 Tipos de ensayos

(1) Conviene hacer una distinción entre los siguientes tipos de ensayos:

- a) ensayos para establecer directamente la resistencia última o propiedades de aptitud al servicio de la estructura o de los elementos estructurales para condiciones de carga dadas. Tales ensayos pueden llevarse a cabo, por ejemplo, para cargas de fatiga o para cargas de impacto;
- b) ensayos para obtener propiedades especificadas de los materiales usando procedimientos de ensayo definidos; por ejemplo, ensayos *in situ* o en laboratorio, o el ensayo de nuevos materiales;
- c) ensayos para reducir incertidumbres en parámetros de modelos de carga o de efectos de las acciones; por ejemplo, mediante ensayos en el túnel de viento, o en ensayos para identificar acciones de olas o corrientes;
- d) ensayos para reducir incertidumbres en los parámetros empleados en modelos de resistencia; por ejemplo, el ensayo de elementos estructurales o conjuntos de elementos estructurales (por ejemplo, estructuras de cubierta o forjados);
- e) ensayos de control para comprobar la identidad o calidad de los productos suministrados o la homogeneidad de las características de producción; por ejemplo, ensayos de cables para puentes, o ensayos de probetas cúbicas de hormigón;
- f) ensayos efectuados durante la ejecución con el objeto de obtener la información necesaria para parte de la ejecución; por ejemplo, ensayos de la resistencia de un pilote, ensayos de la fuerzas de los cables durante la ejecución;
- g) ensayos de control para comprobar el comportamiento de la estructura real o de los elementos estructurales después de acabados; por ejemplo, para obtener la flecha elástica, frecuencias de las vibraciones o amortiguamiento.

(2) Para los tipos de ensayos (a), (b), (c), y (d), los valores de cálculo a usar deberían, siempre que fuera posible, deducirse de los resultados de los ensayos aplicando técnicas estadísticas reconocidas. Véase D.5 y D.8

NOTA — Se pueden necesitar técnicas especiales con objeto de evaluar los resultados de los ensayos tipo (c).

(3) Los tipos de ensayos (e), (f) y (g) pueden considerarse como ensayos de aceptación cuando no haya resultados de ensayo en el momento de realizar los cálculos. Los valores de cálculo deberían ser estimadores prudentes que fueran capaces de cumplir con los criterios de aceptación previstos (ensayos (e), (f) y (g) en una fase posterior).

### D.4 Planificación de los ensayos

(1) Antes de efectuar los ensayos, se debería acordar un plan de ensayos con el Organismo encargado de ellos. Este plan debería contener los objetivos del ensayo y todas las especificaciones necesarias para la selección o confección de las probetas de ensayo, la ejecución de los ensayos y la evaluación de los resultados. El plan debería cubrir:

- objetivos y campo de aplicación,
- previsión de resultados de los ensayos,
- especificación de las probetas y la toma de muestras,
- especificaciones de la aplicación de las cargas,
- dispositivos de ensayo,
- mediciones,
- evaluación e informe de los ensayos.

*Objetivos y campo de aplicación:* El objetivo de los ensayos debería ser claramente expuesto, por ejemplo, las propiedades requeridas, la influencia de algunos parámetros de cálculo cuyos valores se varíen en el curso de los ensayos y el rango de validez. Se deberían especificar las limitaciones del ensayo y las conversiones requeridas (por ejemplo, efectos de la escala)

*Previsión de resultados de los ensayos:* Todas las propiedades y circunstancias que puedan influir en la previsión de resultados de los ensayos deberían tenerse en cuenta, incluso:

- los parámetros geométricos y su variabilidad,
- las imperfecciones geométricas,
- las propiedades de los materiales,
- los parámetros afectados por los procedimientos de fabricación y de ejecución,
- los efectos de escala de las condiciones ambientales teniendo en cuenta, si afecta, el programa detallado de aplicación de cargas.

Deberían describirse los modos de fallo y/o los modelos de cálculo previstos, junto con las correspondientes variables. Si existiera alguna duda significativa acerca de que modos de fallo pudieran ser críticos, el plan de ensayos debería entonces desarrollarse sobre la base de ensayos piloto complementarios.

NOTA — Debe prestarse atención al hecho de que un elemento estructural puede poseer un número de modos de fallo fundamentalmente diferentes.

*Especificación de las probetas y toma de muestras:* Deberían especificarse las muestras de ensayo o ser obtenidas por muestreo, de forma que representen las condiciones de la estructura real.

Los factores a tener en cuenta incluyen:

- dimensiones y tolerancias,
- material y fabricación de prototipos,
- número de muestras,
- procedimiento de muestreo,
- restricciones.

El objetivo de los procedimientos de toma de muestras debería ser el de obtener una muestra estadísticamente representativa.

Se debe prestar atención a cualquier diferencia entre las muestras de ensayo y la población del producto que pudiera influir sobre los resultados de ensayo.

*Especificación de la aplicación de las cargas:* Las condiciones ambientales y de puesta en carga a especificar para el ensayo debería incluir:

- puntos de aplicación de la carga,
- historial de aplicación de la carga
- coacciones en apoyos,
- temperaturas,
- humedad relativa,
- puesta en carga por control en deformación o en fuerza, etc.

La secuencia de la aplicación de la carga debería seleccionarse para representar el uso previsto del elemento estructural, tanto bajo condiciones de uso normales como severas. Deberían tenerse en cuenta, en su caso, las interacciones entre la respuesta de la estructura y los aparatos empleados para aplicar la carga.

Cuando el comportamiento estructural dependa de los efectos de una o más acciones que no se vayan a variar sistemáticamente, se deberían entonces especificar esos efectos mediante sus valores representativos.

*Organización del ensayo:* El equipo para realizar el ensayo debería ser el pertinente para el tipo de ensayos y el rango de medidas previsto. Se debería prestar especial atención a las medidas para obtener suficiente resistencia y rigidez de los dispositivos de carga y de sujeción, y espacio para flechas, etc.

*Medidas:* Antes del ensayo, se debería hacer una relación de las propiedades a medir en cada una de las muestras. Adicionalmente se debería hacer una lista:

- a) de localización de los aparatos de medida,
- b) de procedimientos para registrar los resultados, incluso, en su caso:
  - historial de los desplazamientos,
  - velocidades,
  - aceleraciones,
  - deformaciones,
  - fuerzas y presiones,
  - frecuencia requerida,
  - precisión de las medidas, y
  - dispositivos de medida apropiados.

*Evaluación e informe de los ensayos:* Para ayuda específica, véase los capítulos D.5 a D.8. Se debería informar de cualquier norma que sirva de base para los ensayos.

## **D.5 Deducción de los valores de cálculo**

(1) La deducción a partir de los ensayos de los valores de cálculo de una propiedad, un parámetro de modelo o una resistencia debería llevarse a cabo de una de las siguientes maneras:

- a) mediante la evaluación de un valor característico, que sea entonces dividido por un coeficiente parcial y multiplicado, según el caso, si fuera necesario por un coeficiente de conversión explícito (véanse los apartados D.7.2 y D.8.2);
- b) mediante determinación directa del valor de cálculo, que tenga en cuenta, implícita o explícitamente, la conversión de los resultados y la fiabilidad total requerida (véanse los apartados D.7.3 y D.8.3).

NOTA – En general, es preferible el método a) siempre y cuando el valor del coeficiente parcial se determine a partir del procedimiento normal de cálculo (véase el capítulo (3) más adelante).

(2) La deducción de un valor característico a partir de ensayos (Método (a)) debería tener en cuenta:

- la dispersión de los datos;
- la incertidumbre estadística asociada al número de ensayos;
- información estadística previa.

(3) El coeficiente parcial a aplicar a un valor característico debería tomarse del Eurocódigo apropiado, siempre y cuando haya suficiente similitud entre los ensayos y el campo de aplicación habitual del coeficiente parcial en las verificaciones numéricas.

(4) Si la respuesta de la estructura o del elemento estructural o la resistencia del material depende de influencias no suficientemente cubiertas por los ensayos, tales como:

- efectos de tiempo y duración;
- efectos de escala y tamaño;
- condiciones diferentes ambientales, de aplicación de la carga o de coacciones de apoyo;
- efectos de la resistencia,

el modo de calcular debería entonces tener en cuenta tales influencias de forma apropiada.

(5) En los casos especiales en que se utilice el método dado en D.5(1)b), se debería tener en cuenta lo siguiente al determinar los valores de cálculo:

- los estados límite pertinentes;
- el nivel de fiabilidad requeridos;
- la compatibilidad con las hipótesis correspondientes al lado de las acciones en la expresión (C.8a);
- en su caso, la vida útil de cálculo requerida;
- información a partir de casos similares.

NOTA – Se puede encontrar más información en los apartados D.6, D.7 y D.8.

## **D.6 Principios generales para evaluaciones estadísticas**

(1) Al evaluar los resultados de ensayo, el comportamiento de las muestras de ensayo y los modos de fallo deberían compararse con las predicciones teóricas. Cuando ocurran desviaciones significativas de una predicción, debería buscarse una explicación: esto puede significar ensayos adicionales, quizá bajo condiciones diferentes, o modificación del modelo teórico.

(2) La evaluación de los resultados de ensayo debería basarse en métodos estadísticos, con el uso de información (estadística) disponible acerca del tipo de distribución a emplear y sus parámetros asociados. Los métodos dados en este anexo pueden utilizarse sólo cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- los datos estadísticos (incluyendo la información previa) se toman de poblaciones identificadas que sean lo suficientemente homogéneas; y
- se dispone de un número suficiente de observaciones.

NOTA – A nivel de interpretación de los resultados, se pueden distinguir tres categorías:

- cuando sólo se haga un ensayo (o muy pocos), no hay posibilidad de interpretación estadística clásica. Sólo el uso de amplia información previa asociada a hipótesis acerca de los grados relativos de importancia de esta información y de los resultados de ensayo, hacen posibles la presentación de una interpretación como si fuera estadística (procedimientos Bayesianos, véase la ISO 12491);
- si se hacen una serie mayor de ensayos para evaluar un parámetro, es posible una interpretación estadística clásica. Los casos más corrientes se tratan, como ejemplos, en el capítulo D7. Esta interpretación va a necesitar todavía el uso de información previa acerca del parámetro; esto, sin embargo, será normalmente menos que en el caso anterior;
- cuando se hagan una serie de ensayos para calibrar un modelo (como una función) y uno más parámetros asociados, es posible una interpretación estadística clásica.



(3) El resultado una evaluación de un ensayo debería considerarse válida sólo para las especificaciones y características de la carga consideradas en los ensayos. Si hubiera que extrapolar los resultados para cubrir otros parámetros de cálculo y de puesta en carga, se deberían utilizar información procedente de ensayos previos o de bases teóricas.

## **D.7 Determinación estadística de una propiedad particular**

### **D.7.1 Generalidades**

(1) Este apartado da expresiones operativas para deducir los valores de cálculo a partir de los tipos de ensayo a) y b) del apartado D.3 (3) para una propiedad particular (por ejemplo, resistencia) cuando se usen los métodos (a) y (b) del capítulo D.5(1).

NOTA – Las expresiones presentadas aquí, que usan procedimientos Bayesianos con distribuciones previas "imprecisas", conducen a casi los mismos resultados que la estadística clásica con niveles de confianza iguales a 0,75.

(2) La propiedad particular  $X$  puede representar

- a) una resistencia de un producto,
- b) una propiedad que contribuye a la resistencia de un producto.

(3) En el caso a) el procedimiento de los apartados D.7.2 y D.7.3 pueden aplicarse directamente para determinar valores de característicos o de cálculo o de coeficiente parcial.

(4) En el caso b) debería considerarse que el valor de cálculo de la resistencia debería también incluir:

- los efectos de otras propiedades,
- la incertidumbre del modelo,
- otros efectos (de escala, volumen, etc.).

(5) Las tablas y expresiones de los apartados D.7.2 y D.7.3 están basadas en las consideraciones siguientes:

- todas las variables siguen una distribución ya sea normal o logarítmica-normal;
- no hay información acerca del valor de la media;
- para el caso " $V_x$  desconocido", no hay información acerca del coeficiente de variación;
- para el caso " $V_x$  conocido", hay información completa del coeficiente de variación.

NOTA – La adopción de una distribución logarítmica-normal para ciertas variables tiene la ventaja de que no pueden darse valores negativos como por ejemplo para variables geométricas y de resistencia.

En la práctica, es muchas veces preferible usar el caso de " $V_x$  conocido" junto con una estimación superior prudente de  $V_x$ , mejor que aplicar el caso de  $V_x$  desconocido. Además, en el caso ser desconocido  $V_x$ , conviene suponer que no es menor de 0,10.

### **D.7.2 Evaluación mediante el valor característico**

(1) El valor de cálculo de una propiedad  $X$  debería encontrarse utilizando:

$$X_d = \eta_d \frac{X_{k(n)}}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} m_X \{1 - k_n V_X\} \quad (D.1)$$

donde

$\eta_d$  es el valor de cálculo del coeficiente de conversión.

NOTA – La valoración del coeficiente de conversión depende fuertemente del tipo de ensayo y del tipo de material.

El valor de  $k_n$  puede sacarse de la tabla D.1.

(2) Cuando se use la tabla D.1, debería considerarse uno de los dos casos siguientes:

- La línea " $V_x$  conocido" debería utilizarse si el coeficiente de variación,  $V_x$ , o un límite superior del mismo realista, se conoce *a priori*.

NOTA – La información puede venir a partir de la evaluación de ensayos previos hechos en situaciones comparables. El juicio ingenieril determina que es "comparable" (véase el apartado D.7.1(3)).

- La línea " $V_x$  desconocido" debería emplearse si el coeficiente de variación  $V_x$  no es conocido *a priori* y por lo tanto necesita ser estimado de la muestra como:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - m_x)^2 \quad (D.2)$$

$$V_x = s_x/m_x \quad (D.3)$$

(3) El coeficiente parcial  $\gamma_m$  debería seleccionarse de acuerdo con el campo de aplicación de los resultados de los ensayos.

**Tabla D.1**  
**Valores de  $k_n$  para el valor característico 5%**

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ conocido	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$V_x$ desconocido	–	–	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	2,00	1,76	1,73	1,64

NOTA 1 – Esta tabla está basada en la distribución Normal.

NOTA 2 – Con una distribución Log-normal, la expresión (D.1) se convierte en:

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \exp \left[ m_y - k_n s_y \right]$$

donde

$$m_y = \frac{1}{n} \sum \ln (x_i)$$

Si  $V_x$  es conocido *a priori*,  $s_y = \sqrt{\ln (V_x^2 + 1)} \approx V_x$

Si  $V_x$  no es conocido *a priori*,  $s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln x_i - m_y)^2}$

### D.7.3 Evaluación directa del valor de cálculo para verificaciones del estado límite último

(1) El valor de cálculo  $X_d$  de  $X$  debería encontrarse empleando:

$$X_d = \eta_d m_X \{1 - k_{d,n} V_X\} \quad (D.4)$$

En este caso  $\eta_d$  debería cubrir todas las incertidumbres no cubiertas por los ensayos.

(2)  $k_{d,n}$  deberían obtenerse de la tabla D.2.

**Tabla D.2**  
**Valores de  $k_{d,n}$  para el valor de cálculo del estado límite último**

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_X$ conocido	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,04
$V_X$ desconocido	—	—	—	11,40	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,04

NOTA 1 — Esta tabla se basa en la presunción de que el valor de cálculo corresponde a un producto  $\alpha_R \beta = 0,8 \times 3,8 = 3,04$  (véase el anexo C) y que  $X$  corresponde a una distribución normal. Esto da una probabilidad de observar un valor menor de alrededor del 0,1%.

NOTA 2 — Con una distribución Log-normal, la expresión (D.4) se convierte en:

$$X_d = \eta_d \exp [m_y - k_{d,n} s_y]$$

## D.8 Determinación estadística de modelos de resistencia

### D.8.1 Generalidades

(1) Este capítulo está principalmente concebido para definir los procedimientos (métodos) para calibrar los modelos de resistencia y para deducir los valores de cálculo a partir de los ensayos de tipo d) (véase al apartado D.3(1)). Su utilización se hará con información (conocida o supuesta) previa disponible.

(2) Basado en la observación del comportamiento real en los ensayos y en consideraciones teóricas, se debería desarrollar un "valor de cálculo", que lleve a la deducción de una función de resistencia. La validez de este modelo debería entonces comprobarse mediante una interpretación estadística de todos los datos de ensayo disponibles. Si fuera necesario, el modelo de cálculo se ajusta entonces hasta conseguir una correlación suficiente entre los valores teóricos y los datos de ensayo.

(3) La desviación en la predicción obtenida al usar el modelo de cálculo debería determinarse también a partir de los ensayos. Esta desviación necesitará combinarse con las desviaciones de las otras variables en la función de resistencia con el fin de obtener una indicación global de la desviación. Estas otras variables incluyen:

- la desviación en la resistencia y rigidez de los materiales;
- la desviación en las propiedades geométricas.

(4) La resistencia característica debería determinarse teniendo en cuenta las desviaciones de todas las variables.

(5) En el capítulo D.5(1) se distinguen dos métodos diferentes. Estos métodos se dan en los apartados D.8.2 y D.8.3 respectivamente. Adicionalmente, en el apartado D.8.4 se dan algunas simplificaciones posibles.

Estos métodos se presentan en varias etapas, y se hacen y explican algunas hipótesis respecto a la población de ensayo; estas hipótesis deben ser consideradas nada más que como recomendaciones que cubren algunos de los casos más usuales.

## **D.8.2 Procedimiento de evaluación normalizado (Método (a))**

### **D.8.2.1 Generalidades**

(1) En el procedimiento normalizado se hacen las siguientes hipótesis:

- a) la función de resistencia es una función de varias variables independientes  $\underline{X}$ ;
- b) se dispone de un número suficiente de ensayos;
- c) se miden todas las propiedades pertinentes tanto geométricas como del material;
- d) no hay correlación (dependencia estadística) entre las variables en la función de resistencia;
- e) todas las variables siguen una distribución Normal o Log-normal.

NOTA – Adoptar una distribución Logarítmica-normal para una variable tiene la ventaja de que no toma valores negativos.

(2) El procedimiento estándar para el método D.5 (1)a) comprende las siete etapas indicadas desde D.8.2.2.1 a D.8.2.2.7.

### **D.8.2.2 Procedimiento normalizado**

#### **D.8.2.2.1 Etapa 1: Desarrollo de un modelo de cálculo**

(1) Se desarrolla un modelo de cálculo para una resistencia teórica  $r_t$  del elemento o detalle estructural considerado, representado por la función de resistencia:

$$r_t = g_r(\underline{X}) \quad (D.5)$$

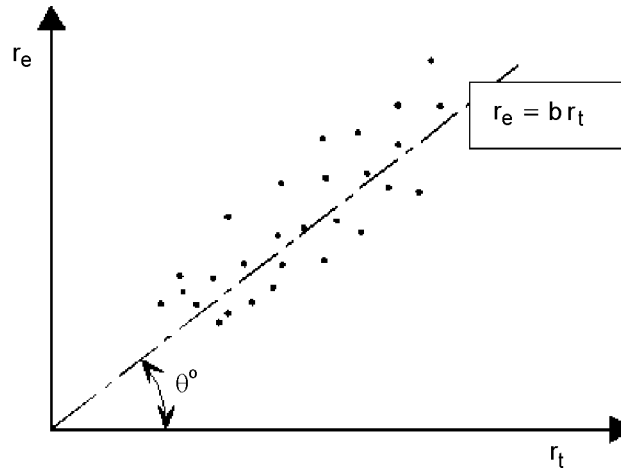
(2) La función de resistencia debería cubrir todas las variables básicas  $\underline{X}$  pertinentes que afecten a la resistencia en el estado límite correspondiente.

(3) Todos los parámetros básicos deberían medirse en cada muestra de ensayo  $i$  (suposición (c) en el apartado D.8.2.1) y deberían estar disponibles para su utilización en la evaluación.

#### **D.8.2.2.2 Etapa 2: Comparación de los valores experimentales y teóricos**

(1) Se sustituyen en la función de resistencia las propiedades realmente medidas de forma que se obtengan los valores teóricos para formar una base de una comparación con los valores experimentales  $r_{ei}$  procedentes de los ensayos.

(2) Los puntos que representan pares de valores correspondientes ( $r_{ti}$ ,  $r_{ei}$ ) deberían recogerse en un diagrama, como se indica en la figura D.1).



**Fig. D.1 – Diagrama  $r_e - r_t$**

(3) Si la función de resistencia es exacta y completa, todos los puntos caerán entonces sobre la línea  $\theta = \pi/4$ . En la práctica los puntos presentarán una dispersión, pero deberían investigarse las causas de cualquier desviación sistemática de esa línea para comprobar si esto indica errores en los procedimientos de ensayos o en la función de resistencia.

**D.8.2.2.3** Etapa 3: Estimación del valor medio del coeficiente de corrección  $b$

(1) Se representa el modelo probabilístico de la resistencia  $r$  en el formato:

$$r = b r_i \delta \quad (D.6)$$

donde

$$b \text{ es el mejor ajuste de la pendiente, según el método de "Mínimos cuadrados", dado por } b = \frac{\sum r_e r_t}{\sum r_t^2} \quad (D.7)$$

(2) El valor medio de la función teórica de la resistencia, calculada usando los valores medios  $\underline{X}$  de las variables básicas, puede obtenerse a partir de :

$$r_m = b r_t (\underline{X}_m) \delta = b g_{rt} (\underline{X}_m) \delta \quad (D.8)$$

**D.8.2.2.4** Etapa 4: Estimación del coeficiente de variación de los errores

(1) El término de error  $\delta_i$  para cada valor experimental  $r_{ei}$  debería determinarse a partir de la expresión (D.9):

$$\delta_i = \frac{r_{ei}}{b r_{ti}} \quad (D.9)$$

(2) A partir de los valores de  $\delta_i$  se debería determinar un valor estimado para  $V_\delta$  definiendo:

$$\Delta_i = \ln (\delta_i) \quad (D.10)$$

(3) El valor estimado  $\bar{\Delta}$  para  $E(\Delta)$  debería obtenerse a partir de:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i \quad (\text{D.11})$$

(4) El valor estimado  $s_{\Delta}^2$  para  $\sigma_{\Delta}^2$  debería obtenerse a partir de:

$$s_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 \quad (\text{D.12})$$

(5) La expresión:

$$V_{\delta} = \sqrt{\exp(s_{\Delta}^2) - 1} \quad (\text{D.13})$$

Puede usarse como el coeficiente de variación  $V_{\delta}$  de los términos de error  $\delta_i$ .

#### **D.8.2.2.5** Etapa 5: Análisis de compatibilidad

(1) La compatibilidad de la población de ensayo con las suposiciones hechas en la función de resistencia debería ser analizada.

(2) Si la dispersión de los valores ( $r_{ei}$ ,  $r_{ti}$ ) es demasiado grande para dar funciones económicas de cálculo de la resistencia, esta dispersión puede reducirse de una de las siguientes maneras:

- a) corrigiendo el modelo de cálculo para tener en cuenta los parámetros que hayan sido ignorados previamente;
- b) modificando  $b$  y  $V_{\delta}$  dividiendo la población total de ensayo en sub-conjuntos apropiados para los que la influencia de tales parámetros adicionales pueda considerarse que sea constante.

(3) Para determinar qué parámetros tienen más influencia en la dispersión, se pueden separar los resultados de los ensayos en sub-conjuntos con respecto a estos parámetros.

NOTA – El propósito es mejorar la función de resistencia por subconjunto analizando cada subconjunto usando el procedimiento normalizado. La desventaja de separar los resultados de los ensayos por subconjuntos es que el número de resultados en cada subconjunto se hace muy pequeño.

(4) Cuando se determine los coeficientes de los fractiles  $k_n$  (véase el paso 7), el valor  $k_n$  de los subconjuntos puede determinarse sobre la base del número total de ensayos de las series originales.

NOTA – Se llama la atención sobre el hecho de que la distribución de la frecuencia de la resistencia puede describirse mejor como una función bimodal o multi-modal. Se pueden emplear técnicas de aproximación especiales para transformar estas funciones en distribuciones uni-modales.

#### **D.8.2.2.6** Etapa 6: Determinación de los coeficientes de variación $V_x$ de las variables fundamentales

(1) Si se puede demostrar que la población de ensayo es en la realidad completamente representativa de la variación de la resistencia, entonces, los coeficientes de variación  $V_{xi}$  de las variables fundamentales de la función pueden determinarse a partir de los resultados de ensayo. Sin embargo, ya que éste no es generalmente el caso, los coeficientes de variación  $V_{xi}$  van a necesitar normalmente que sean determinados sobre la base de algún conocimiento previo.

#### **D.8.2.2.7** Etapa 7: Determinación del valor característico $r_k$ de la resistencia

(1) Si la función de resistencia para un número  $j$  de variables fundamentales es una función producto de la forma:

$$r = br_t \delta = b \{X_1 \times X_2 \dots X_j\} \delta$$

el valor medio  $E(r)$  puede obtenerse de:

$$E(r) = b \left\{ E(X_1) \times E(X_2) \dots E(X_j) \right\} = b g_{rt}(\underline{X}_m) \quad (D.14a)$$

Y el coeficiente de variación  $V_r$  puede obtenerse a partir de la función producto:

$$V_r^2 = (V_\delta^2 + 1) \left[ \prod_{i=1}^j (V_{Xi}^2 + 1) \right] - 1 \quad (D.14b)$$

(2) Alternativamente, para pequeños valores de  $V_\delta^2$  y  $V_{Xi}^2$  se pueden aplicar las siguientes aproximaciones para  $V_r$ :

$$V_r^2 = V_\delta^2 + V_{rt}^2 \quad (D.15a)$$

con:

$$V_{rt}^2 = \sum_{i=1}^j V_{Xi}^2 \quad (D.15b)$$

(3) Si la función de resistencia es una función más compleja, de la forma:

$$r = b_{rt} \delta = b g_{rt}(X_1, \dots, X_j) \delta$$

el valor medio  $E(r)$  puede obtenerse de:

$$E(r) = b g_{rt} (E(X_1), \dots, E(X_j)) = b g_{rt} (\underline{X}_m) \quad (D.16a)$$

Y el coeficiente de variación  $V_{rt}$  puede obtenerse a partir de:

$$V_{rt}^2 = \frac{VAR[g_{rt}(\underline{X})]}{g_{rt}^2(\underline{X}_m)} \cong \frac{1}{g_{rt}^2(\underline{X}_m)} \times \sum_{i=1}^j \left( \frac{\partial g_{rt}}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2 \quad (D.16b)$$

(4) Si el número de ensayos es limitado (por ejemplo  $n < 100$ ) se debería tener en cuenta las incertidumbres estadísticas en la distribución de  $\Delta$  para incertidumbres estadísticas. La distribución debería considerarse como una distribución  $t$  central\* con los parámetros  $\bar{\Delta}$ ,  $V_\Delta$  y  $n$ .

(5) En este caso, la resistencia característica  $r_k$  debería obtenerse a partir de:

$$r_k = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp \left( -k_\infty \alpha_{rt} Q_{rt} - k_n \alpha_\delta Q_\delta - 0,5 Q^2 \right) \quad (D.17)$$

con:

$$Q_{rt} = \sigma_{\ln(rt)} = \sqrt{\ln(V_{rt}^2 + 1)} \quad (D.18a)$$

$$Q_\delta = \sigma_{\ln(\delta)} = \sqrt{\ln(V_\delta^2 + 1)} \quad (D.18b)$$

---

\* NdT distribución de Student.

$$Q = \sigma_{\ln(r)} = \sqrt{\ln(V_r^2 + 1)} \quad (D.18c)$$

$$\alpha_{rt} = \frac{Q_{rt}}{Q} \quad (D.19a)$$

$$\alpha_{\delta} = \frac{Q_{\delta}}{Q} \quad (D.19b)$$

donde

$k_n$  es el coeficiente del fractil característico de la tabla D.1 para el caso de  $V_x$  desconocido

$k_{\infty}$  es el valor de  $k_n$  para  $n \rightarrow \infty$  [ $k_{\infty} = 1,64$ ]

$\alpha_{rt}$  es el coeficiente ponderado para  $Q_{rt}$

$\alpha_{\delta}$  es el coeficiente ponderado para  $Q_{\delta}$

NOTA – El valor de  $V_{\delta}$  puede estimarse de la muestra de ensayo en consideración.

(6) Si se dispone de un número grande ( $n \geq 100$ ) de ensayos, la resistencia característica  $r_k$  puede obtenerse a partir de:

$$r_k = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{\infty} Q - 0,5 Q^2) \quad (D.20)$$

### D.8.3 Procedimiento de evaluación normalizado (Método (b))

(1) En este caso, el procedimiento es el mismo que el del apartado D.8.2, excepto que el paso 7 se adapta reemplazando el coeficiente de fractil característico  $k_n$  por el coeficiente de fractil de cálculo  $k_{d,n}$  igual al producto  $\alpha_R \beta$  valorado en  $0,8 \times 3,8 = 3,04$  como corrientemente aceptable (véase el anexo C) para obtener el valor de cálculo  $r_d$  de la resistencia.

(2) En el caso de un número limitado de ensayos el valor de cálculo  $r_d$  debería obtenerse a partir de:

$$r_d = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} \alpha_{rt} Q_{rt} - k_{d,n} \alpha_{\delta} Q_{\delta} - 0,5 Q^2) \quad (D.21)$$

donde

$k_{d,n}$  es el coeficiente de fractil de cálculo tomado de la tabla D.2 para el caso de  $V_x$  desconocido

$k_{d,\infty}$  es el valor de  $k_{d,n}$  para  $n \rightarrow \infty$  [ $k_{d,\infty} = 3,04$ ]

NOTA – El valor de  $V_{\delta}$  es estimado a partir de la muestra de ensayo en consideración.

(2) En el caso de un número grande de ensayos el valor de cálculo  $r_d$  puede obtenerse a partir de:

$$r_d = b g_{rt}(\underline{X}_m) \exp(-k_{d,\infty} Q - 0,5 Q^2) \quad (D.22)$$

### D.8.4 Uso de información previa adicional

(1) Si la validez de la función de resistencia  $r_t$  y un límite superior (evaluación del lado de la seguridad) para un coeficiente de variación  $V_r$  son ya conocidos a partir de un número significativo de ensayos previos, puede adoptarse el siguiente procedimiento simplificado cuando se hagan ensayos posteriores



(2) Si sólo se realiza un ensayo más, el valor característico  $r_k$  puede determinarse a partir del resultado  $r_e$  de este ensayo aplicando:

$$r_k = \eta_k r_e \quad (D.23)$$

donde

$\eta_k$  es el factor de reducción aplicables en el caso de que se pueda obtener información que puede obtenerse a partir de:

$$\eta_k = 0,9 \exp \left( - 2,31 V_r - 0,5 V_r^2 \right) \quad (D.24)$$

donde

$V_r$  es el máximo coeficiente de variación observado en los ensayos previos

(3) Si se llevan a cabo dos o tres ensayos más, el valor característico  $r_k$  puede determinarse a partir del valor medio  $r_{em}$  del resto de los ensayos, aplicando:

$$r_k = \eta_k r_{em} \quad (D.25)$$

donde

$\eta_k$  es el factor de reducción aplicable en el caso de tener información previa, puede obtenerse a partir de:

$$\eta_k = \exp \left( - 2,0 V_r - 0,5 V_r^2 \right) \quad (D.26)$$

donde

$V_r$  es el máximo coeficiente de variación observado en los ensayos previos

Siempre que cada valor extremo (máximo y mínimo)  $r_{ee}$  satisfaga la condición:

$$|r_{ee} - r_{em}| \leq 0,10 r_{em} \quad (D.27)$$

(4) Los valores del coeficiente de variación  $V_r$  dados en la tabla D.3 pueden darse como válidos para el tipo de fallo a especificar (por ejemplo, en el Eurocódigo correspondiente), que llevan a la relación de valores indicados de  $\eta_k$  de acuerdo con las expresiones (D.24) y (D.26)

**Tabla D.3**  
**Coeficiente de reducción  $\eta_k$**

Coeficiente de variación $V_r$	Coeficiente de reducción $\eta_k$	
	Para 1 ensayo	Para 2 ó 3 ensayos
0,05	0,80	0,90
0,11	0,70	0,80
0,17	0,60	0,70

## **BIBLIOGRAFÍA**

ISO 2394 – *Principios generales sobre fiabilidad de las estructuras.*

ISO 2631:1997 – *Vibración mecánica y choque. Evaluación de la exposición humana a la vibración de cuerpo entero.*

ISO 3898 – *Bases para el cálculo de estructuras. Notaciones. Símbolos generales.*

ISO 6707-1 – *Edificación e ingeniería civil. Vocabulario. Parte 1: Términos generales.*

ISO 8930 – *Principios generales sobre fiabilidad de la estructuras. Lista de términos equivalentes.*

EN ISO 9001:2000 – *Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos (ISO 9001:2000).*

ISO 10137 – *Bases para el cálculo de estructuras. Aptitud al servicio de los edificios contra vibraciones.*

ISO 8402 – *Gestión de la calidad y aseguramiento de la calidad. Vocabulario.*



---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32