

EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1998-1-1
Marzo 1998



EUROCÓDIGO 8

DISPOSICIONES PARA
EL PROYECTO DE
ESTRUCTURAS
SISMORRESISTENTES

**PARTE 1-1: REGLAS GENERALES
ACCIONES SÍSMICAS Y REQUISITOS
GENERALES DE LAS ESTRUCTURAS**

PREÁMBULO

La presente publicación de la Norma Experimental UNE-ENV 1998-1-1:1998 "Acciones Sísmica y requisitos generales para estructuras", recoge en sus páginas un conjunto de especificaciones técnicas no obligatorias relativas a las acciones sísmicas y requisitos generales para estructuras a considerar en los proyectos de edificación.

Estas especificaciones técnicas son la versión española de la correspondiente Norma Europea Experimental, traducción que ha sido realizada por el Subcomité 8 del Comité Técnico de Normalización 140 "Eurocódigos Estructurales" de AENOR, y su presente publicación constituye una vía directa de divulgar las citadas especificaciones técnicas para su conocimiento y consideración por todos los interesados en el sector de la construcción.

En España existen normas básicas que han de aplicarse en el proyecto y en la obra de toda edificación y que constituyen materia regulada de obligado cumplimiento, exigencia que proviene de la necesidad de garantizar, en la medida de lo posible, la seguridad de los usuarios de tales obras así como las exigencias derivadas de la contratación pública.

La Normativa básica de acciones a considerar en los proyectos de edificación es la *Norma Básica de la Edificación NBE-AE/88* (aprobada por Real Decreto 1370/1988 de 11 de noviembre), y en lo relativo a la consideración de la acción sísmica (en el proyecto, construcción, reforma y conservación de aquellas edificaciones y obras a las que le sea aplicable) seguirá obligatoriamente lo regulado por la *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación NCSE-94*.

La NCSE-94 (aprobada por Real Decreto 2543/1994 de 24 de diciembre) establece las condiciones técnicas que han de cumplir las estructuras de edificación, a fin de que su comportamiento ante fenómenos sísmicos evite consecuencias graves para la salud y seguridad de los ciudadanos, evite pérdidas económicas y propicie la conservación de servicios básicos para la sociedad en casos de terremotos de intensidad elevada. Esta Norma contiene una serie de capítulos, fundamentalmente el I y el II, directamente relacionados con la Norma Europea Experimental anteriormente mencionada.

La posibilidad de usar la Norma Experimental como alternativa a la NCSE-94 tendrá como requisito previo la aprobación y promulgación en el Boletín Oficial del Estado del correspondiente "Documento Nacional de Aplicación" para España.

La importancia de la Norma Experimental reside en que a partir de ella se pretende constituir una futura norma europea que permitirá la unidad de criterios en este campo y contribuirá a la libre circulación de personas y productos de construcción en el ámbito de la Unión Europea.

José A. Canas Torres

Presidente de la Comisión Permanente
de Normas Sismorresistentes

Dirección General del Instituto Geográfico Nacional

MINISTERIO DE FOMENTO

Octubre 1997

Marzo 1998

TÍTULO

EUROCÓDIGO 8: Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes

Parte 1-1: Reglas generales. Acciones sísmicas y requisitos generales de las estructuras

Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-1: General rules. Seismic actions and general requirements for structures.

Eurocode 8: Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes. Partie 1-1: Règles générales. Actions sismiques et exigences générales pour les structures.

CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1998-1-1 de octubre 1994.

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

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

ICS 91.120.20

Descriptores: Ingeniería civil, edificios, estructuras, estructuras sismorresistentes, proyecto sismorresistente, cálculo.

Versión en español

**EUROCÓDIGO 8: Disposiciones para el proyecto
de estructuras sismorresistentes
Parte 1-1: Reglas generales. Acciones sísmicas
y requisitos generales de las estructuras**

Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-1: General rules. Seismic actions and general requirements for structures.

Eurocode 8: Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes. Partie 1-1: Règles générales. Actions sismiques et exigences générales pour les structures.

Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Teil 1-1: Grundlagen. Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke.

Esta Norma Europea Experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1993-12-17 como una norma experimental para su aplicación provisional. El período de validez de esta Norma ENV está limitado inicialmente a tres años. Pasados dos años, los miembros de CEN enviarán sus comentarios, en particular sobre la posible conversión de la Norma ENV en Norma Europea (EN).

Los miembros de CEN deberán anunciar la existencia de esta Norma ENV utilizando el mismo procedimiento que para una Norma EN y hacer que esta Norma ENV esté disponible rápidamente y en la forma apropiada a nivel nacional. Se permite mantener (en paralelo con la Norma ENV) las normas nacionales que estén en contradicción con la Norma ENV hasta que se adopte la decisión final sobre la posible conversión de la Norma ENV en Norma EN.

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, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, 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
ANTECEDENTES	8
1 GENERALIDADES	10
1.1 Campo de aplicación	10
1.1.1 Campo de aplicación del Eurocódigo 8	10
1.1.2 Campo de aplicación de la parte 1-1 del Eurocódigo 8	10
1.1.3 Otras partes del Eurocódigo 8	10
1.2 Diferencias entre Principios y Reglas de Aplicación	11
1.3 Hipótesis	11
1.4 Definiciones	11
1.4.1 Términos comunes a todos los Eurocódigos	11
1.4.2 Otros términos utilizados en la parte 1-1 del Eurocódigo 8	12
1.5 Sistema Internacional de Unidades (S.I.)	13
1.6 Símbolos	13
1.6.1 Generalidades	13
1.6.2 Otros símbolos utilizados en la parte 1-1	13
1.7 Normas de consulta	14
2 REQUISITOS FUNDAMENTALES Y CRITERIOS DE COMPROBACIÓN ..	14
2.1 Requisitos fundamentales	14
2.2 Criterios de comprobación	15
2.2.1 Generalidades	15
2.2.2 Estado límite último	15
2.2.3 Estado límite de servicio	16
2.2.4 Medidas específicas	16
3 CONDICIONES DEL SUELO	17
3.1 Generalidades	17
3.2 Clasificación de las condiciones del subsuelo	17
4 ACCIÓN SÍSMICA	18
4.1 Zonas sísmicas	18
4.2 Representación básica de la acción sísmica	18
4.2.1 Generalidades	18
4.2.2 Espectro elástico de respuesta	19
4.2.3 Desplazamiento máximo del suelo	21
4.2.4 Espectro de cálculo para análisis lineal	21
4.3 Representaciones alternativas de la acción sísmica	22
4.3.1 Representación del espectro de potencia	22
4.3.2 Acelerogramas de cálculo	22
4.3.3 Modelo espacial de la acción sísmica	24
4.4 Combinaciones de la acción sísmica con otras acciones	24

ANTECEDENTES

Objetivos de los Eurocódigos

- (1) Los "Eurocódigos Estructurales" son un conjunto de normas para el proyecto geotécnico y estructural de edificios y obra civil.
- (2) Estos Eurocódigos abarcan la ejecución y el control solamente en cuanto sea necesario para definir la calidad de los productos de construcción, y los niveles de calidad de mano de obra requeridos para cumplir con las hipótesis de cálculo.
- (3) Hasta tanto esté disponible el necesario conjunto armonizado de especificaciones técnicas relativas a los productos y a los métodos de comprobación de su comportamiento, los Eurocódigos estructurales cubren algunos de estos aspectos en anexos informativos.

Historial del Programa Eurocódigo

- (4) La Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) inició el trabajo de establecer un conjunto armónico de normas técnicas para el proyecto de edificios y obras de ingeniería civil que inicialmente servirían como alternativa a las diferentes normas vigentes en los diversos Estados miembros y finalmente las reemplazarían. Estas normas técnicas se han llegado a conocer como "Eurocódigos Estructurales".
- (5) En 1990, tras consultar a sus respectivos Estados miembros, la CCE transfirió el trabajo del desarrollo posterior, emisión y actualización de los Eurocódigos Estructurales al CEN, y la Secretaría de la EFTA acordó apoyar económicamente el trabajo del CEN.
- (6) El Comité técnico del CEN, CEN/TC250, es el responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

El Programa Eurocódigo

- (7) Se trabaja sobre los siguientes Eurocódigos Estructurales, cada uno de los cuales consta generalmente de varias partes:

EN 1991	Eurocódigo 1:	Bases de proyecto y acciones sobre las 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 (hormigón y acero).
EN 1995	Eurocódigo 5:	Proyecto de estructuras de madera.
EN 1996	Eurocódigo 6:	Proyecto de estructuras de fábrica de ladrillo.
EN 1997	Eurocódigo 7:	Proyecto geotécnico.
EN 1998	Eurocódigo 8:	Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes.
EN 1999	Eurocódigo 9:	Proyecto de estructuras de aleaciones de aluminio.
- (8) Diferentes Subcomités han sido creados por el CEN/TC250 para los diferentes Eurocódigos relacionados anteriormente.
- (9) Esta parte 1-1 del Eurocódigo 8 se publica como una norma europea experimental (ENV) con una validez inicial de tres años.
- (10) La pretensión de esta norma experimental es su aplicación experimental y la remisión de comentarios.
- (11) Después de aproximadamente dos años, los miembros del CEN serán invitados a remitir formalmente sus comentarios, los cuales se tendrán en cuenta para determinar las acciones futuras.

- (12) Mientras tanto, la información y los comentarios sobre esta norma experimental deberán enviarse a la Secretaría del CEN/TC250/SC8 a la siguiente dirección:

IPQ c/o LNEC
Avenida do Brasil 101
P - 1799 LISBOA Codex
PORTUGAL

o al Organismo Nacional de Normalización correspondiente.

NOTA NACIONAL – El Organismo Nacional de Normalización en España:

AENOR
Génova, 6
28004 MADRID
Teléfono: 91-4326000
Fax: 91-3104976

Documentos Nacionales de Aplicación (DNA)

- (13) En vista a las responsabilidades de las autoridades de los países miembros en temas como seguridad, sanidad y otros temas cubiertos por los requisitos esenciales de la Directiva de Productos de Construcción (DPC), en esta ENV se han asignado a algunos elementos de seguridad valores indicativos, identificados por | □ | ("valores de recuadro"). Se espera que las autoridades de cada país miembro revisen los "valores de recuadro" de estos elementos de seguridad que pueden sustituirlos por valores alternativos definitivos de aplicación nacional.
- (14) Algunas de las normas europeas o internacionales puede que no estén disponibles en el momento en que sea emitida esta norma experimental. Por esta razón se anticipa que por cada país miembro o por su Organización de normas se redactará un Documento Nacional de Aplicación (DNA) en el que por un lado constarán los valores alternativos asignados definitivamente a los elementos de seguridad, y por otro, se hará referencia a las normas compatibles y se proporcionará una guía para la aplicación nacional de esta norma experimental.
- (15) Se pretende que esta norma experimental sea utilizada conjuntamente con el DNA del país en el que se localizan las obras de edificación o de ingeniería civil.

Temas específicos de esta norma experimental

- (16) El campo de aplicación del Eurocódigo 8, está definido en el apartado 1.1.1 y el de esta parte del Eurocódigo 8 se define en el apartado 1.1.2. En el apartado 1.1.3 se indican las otras partes previstas del Eurocódigo 8.
- (17) Esta norma experimental se desarrolló a partir de una de las partes que se incluyó en el borrador del Eurocódigo 8, de fecha mayo 1988, publicado por la CCE y sometido a información pública. Este borrador también contenía las partes 1-2 y 1-3, que ahora se presentan como normas experimentales por separado.
- (18) Como ya se ha mencionado en el apartado 1.1.1, debe prestarse atención al hecho de que para el proyecto de estructuras en regiones sísmicas, las disposiciones del Eurocódigo 8 se aplicarán en conjunción de los demás Eurocódigos que proceda.
- (19) Al poner en práctica esta norma experimental, se deben tener especialmente en cuenta las hipótesis enumeradas en el apartado 1.3.
- (20) Un tema fundamental de esta norma experimental es la definición de la acción sísmica. Dadas las amplias diferencias existentes en cuanto a peligrosidad sísmica y a características sismogénicas en cada país miembro, se define aquí la acción sísmica por un número suficientemente grande de parámetros, cuyos valores numéricos aparecen en recuadro | □ |, de forma que las autoridades de cada país miembro puedan ajustar la acción sísmica a sus condiciones específicas. Se estima sin embargo, que la utilización de un modelo básico común para la representación de la acción sísmica constituye un paso importante de esta norma experimental para la armonización de las normas.

1 GENERALIDADES

1.1 Campo de aplicación

1.1.1 Campo de aplicación del Eurocódigo 8

(1)P El Eurocódigo 8 se aplica al proyecto y a la construcción de edificios y obra civil en regiones sísmicas. Su objetivo es asegurar que en caso de ocurrencia de un terremoto

- las vidas humanas estén protegidas;
- el daño esté limitado; y
- las estructuras importantes para Protección Civil continúen operativas.

NOTA – La naturaleza aleatoria de los sismos y los limitados recursos disponibles para contrarrestar sus efectos hacen que sea sólo parcialmente posible alcanzar estas metas, y que solamente se pueda medir de forma probabilística.

El grado probabilístico de protección que se puede ofrecer a las diferentes categorías de edificios es un problema de distribución óptima de los recursos, y por tanto se espera que varíe de un país a otro dependiendo de la importancia relativa del riesgo sísmico con respecto a los riesgos de otro origen, y de los recursos económicos globales.

Para ofrecer la necesaria flexibilidad en este sentido, el Eurocódigo 8 contiene un conjunto de parámetros relativos a la seguridad cuyos valores pueden ser decididos por las autoridades nacionales para ajustar así el nivel de protección a su valor óptimo respectivo.

(2)P Las estructuras singulares con riesgos elevados para la población, tales como las centrales nucleares y las grandes presas, están excluidas del ámbito de aplicación del Eurocódigo 8.

(3)P El Eurocódigo 8 contiene solamente aquellas disposiciones que, además de las de los otros Eurocódigos que corresponda, tienen que ser observadas para el proyecto de estructuras en regiones sísmicas. En este sentido complementa a los demás Eurocódigos.

(4) El Eurocódigo 8 está subdividido en varias partes separadas, véanse apartados 1.1.2 y 1.1.3.

1.1.2 Campo de aplicación de la parte 1-1 del Eurocódigo 8

(1) La parte 1-1 contiene los requisitos básicos y los criterios de comprobación a aplicar a los edificios y obra civil en las regiones sísmicas.

(2) Además, la parte 1-1 contiene las normas para la representación de acciones sísmicas y para su combinación con otras acciones. Ciertos tipos de estructuras, tratadas en las partes 2 a 5, necesitan normas complementarias que se dan en esas partes.

1.1.3 Otras partes del Eurocódigo 8

(1)P Las otras partes del Eurocódigo 8, complementarias a la parte 1-1, incluyen lo siguiente:

- La parte 1-2 contiene las reglas generales de proyecto que conciernen específicamente a los edificios.
- La parte 1-3 contiene las reglas específicas sobre los diversos materiales y elementos estructurales que conciernen específicamente a los edificios.
- La parte 1-4 contiene las disposiciones para el refuerzo sismorresistente y para la reparación de edificios existentes.
- La parte 2 contiene las disposiciones específicas relativas a los puentes.
- La parte 3 contiene las disposiciones específicas relativas a las torres, mástiles y chimeneas.
- La parte 4 contiene las disposiciones específicas relativas a los depósitos, silos y grandes tuberías.
- La parte 5 contiene las disposiciones específicas relativas a las cimentaciones, a las estructuras de contención y a los aspectos geotécnicos.

1.2 Diferencias entre Principios y Reglas de aplicación

- (1)P Dependiendo del carácter de cada artículo, en este Eurocódigo se distingue entre **principios** y **reglas de aplicación**.
- (2)P Los **principios** consisten en:
- Enunciados generales y definiciones para las cuales no hay alternativa.
 - Requisitos y modelos analíticos para los cuales no se permite ninguna alternativa, si no está específicamente indicado.
- (3)P Las **reglas de aplicación** son reglas ampliamente reconocidas que siguen los principios y satisfacen sus requisitos.
- (4) Los principios se indican con la letra **P** después del número del párrafo. Los demás párrafos (sin **P**) son reglas de aplicación, por ejemplo este párrafo.
- (5) Está permitido proyectar con procedimientos alternativos que difieran de las reglas de aplicación dadas en el Eurocódigo 8, a condición de que dichos procedimientos alternativos estén de acuerdo con los principios que corresponda, y que sean, al menos, equivalentes en cuanto a seguridad y funcionalidad con los de las estructuras proyectadas de acuerdo con las reglas de aplicación del Eurocódigo 8.

1.3 Hipótesis

- (1)P Se aplican las siguientes hipótesis:
- Las estructuras están proyectadas por personal adecuadamente cualificado y experimentado.
 - Existen adecuados sistemas de supervisión y control de calidad durante la ejecución de la obra, esto es, en las oficinas de proyecto, en las fábricas, a pie de obra, etc.
 - La construcción se realiza por personal que posee la adecuada cualificación y experiencia.
 - Los materiales y productos de construcción se utilizan tal como se especifica en los Eurocódigos o en las especificaciones relativas al material o al producto.
 - La estructura recibirá un mantenimiento adecuado.
 - La estructura se destinará a lo que ha sido proyectada.
- (2) En este Eurocódigo, los valores numéricos en recuadro | ___ | son solamente indicativos. Las autoridades nacionales pueden especificar valores diferentes.

1.4 Definiciones

1.4.1 Términos comunes a todos los Eurocódigos

- (1) Si no se indica lo contrario, se utiliza la terminología de la Norma internacional ISO 8930.
- (2) Los siguientes términos se utilizan de forma común en todos los Eurocódigos con los significados que se indican:
- **Obras:** Todo lo que tiene que véase o es resultado de operaciones de construcción. Este término cubre tanto las obras de edificación como las de ingeniería civil. Se refiere a la obra completa, comprendiendo tanto los elementos estructurales y no estructurales como los aspectos geotécnicos involucrados.
 - **Tipo de obra de edificación o de ingeniería civil:** Tipo de obra de construcción en que se indica su pretendida función, por ejemplo, vivienda, muro de contención, edificio industrial, puente de carretera, etc.

- **Tipo de construcción:** Indicación de los principales materiales estructurales, por ejemplo, construcción de hormigón armado, construcción en acero, construcción mixta, construcción de madera, construcción de fábrica, etc.
- **Método constructivo:** Forma en la que se ejecutará, por ejemplo, *in situ*, prefabricada, en voladizo.
- **Material de construcción:** El material utilizado en la obra de construcción, por ejemplo, hormigón, acero, madera, mampostería.
- **Estructura:** Conjunto organizado de elementos conectados, proyectados para ofrecer la rigidez adecuada.
- **Forma de la estructura:** Tipo estructural que designa el ensamblaje de los elementos estructurales, tales como vigas, pilares, arcos, pilotes de cimentación, etc. Formas de la estructura son por ejemplo las reticuladas o los puentes colgantes.
- **Sistemas estructurales:** Los elementos que transmiten la carga en un edificio u obra civil, y la forma en la que estos elementos trabajan conjuntamente.
- **Modelo estructural:** La idealización del sistema estructural utilizado a efectos de análisis y cálculo.
- **Ejecución:** La actividad de crear un edificio u obra de ingeniería civil. El término comprende tanto la ejecución *in situ* como la fabricación de componentes lejos de la obra, y su posterior montaje *in situ*.

1.4.2 Otros términos utilizados en la Parte 1-1 del Eurocódigo 8

(1) Los siguientes términos se utilizan en la Parte 1-1, con los siguientes significados:

- **Factor de comportamiento:** Factor utilizado en el cálculo que permite reducir las fuerzas obtenidas a partir de un análisis lineal, a fin de tener en cuenta la respuesta en fase plástica (no lineal) de una estructura, además del material, el sistema estructural y los métodos de cálculo.
- **Método de proyecto basado en la disipación (capacity design method):** Método de proyecto en el cual seleccionados elementos del sistema estructural se proyectan y dimensionan adecuadamente para lograr disipar energía ante grandes deformaciones, mientras que el resto de los elementos estructurales se dotan de suficiente resistencia, de forma que pueda desarrollarse el modo escogido de disipación de energía mediante deformación plástica.
- **Regiones críticas:** Véase **Zonas de disipación**.
- **Estructura disipativa:** Estructura que puede disipar energía mediante un comportamiento de histéresis dúctil.
- **Zonas de disipación:** Partes predeterminadas de una estructura disipativa en las cuales se localiza prioritariamente la capacidad de disipación (también llamadas **regiones críticas**).
- **Sistema dinámicamente independiente:** Estructura o parte de una estructura sometida directamente al movimiento del suelo, cuya respuesta no está afectada por la respuesta de las unidades o estructuras adyacentes.
- **Factor de importancia:** Factor utilizado para expresar la importancia de un edificio o de una obra civil.
- **Estructura no disipativa:** Estructura proyectada para cargas sísmicas, sin tener en cuenta el comportamiento no lineal del material.
- **Elemento no-estructural:** Elemento, sistema o componente arquitectónico, mecánico o eléctrico que, ya sea debido a la falta de resistencia o a la manera en que está conectado a la estructura, no está considerado en el proyecto sismorresistente como elemento cargado.

1.5 Sistema Internacional de Unidades (S.I.)

(1)P Se utilizarán las unidades S.I. de acuerdo con la Norma ISO 1000.

(2) En los cálculos se recomiendan las siguientes unidades:

- cargas: kN , kN/m , kN/m^2
- densidad: kg/m^3
- peso específico: kN/m^3
- tensiones y resistencias: N/mm^2 (= MN/m^2 o MPa)
- momentos (flectores, etc.): kNm
- aceleración: m/s^2

1.6 Símbolos

1.6.1 Generalidades

- (1) Para los símbolos dependientes del material, y para los símbolos no relacionados específicamente con los terremotos, se aplican las disposiciones de los Eurocódigos pertinentes.
- (2) Por facilidad de uso, otros símbolos, utilizados en relación con las acciones sísmicas, se definen en el texto donde aparecen. Además, los símbolos que aparecen más frecuentemente en la Parte 1-1 se relacionan y definen en el apartado 1.6.2.

1.6.2 Otros símbolos utilizados en la Parte 1-1

- A_{Ed} valor de cálculo de la acción sísmica para un período de retorno dado.
- E_d valor de cálculo de las solicitaciones originadas por la acción.
- Q acción variable.
- $S_e(T)$ ordenada del espectro elástico de respuesta de aceleración del suelo (también llamado espectro elástico) para el período de retorno de referencia.
- $S_d(T)$ ordenada del espectro de cálculo para el período de retorno de referencia.
- S parámetro del suelo.
- T período de vibración de un sistema lineal con un solo grado de libertad.
- a_g máxima aceleración efectiva del suelo (conocida también como aceleración de cálculo del terreno), en roca o suelo firme, para el período de retorno de referencia.
- d_g desplazamiento máximo del suelo.
- g aceleración de la gravedad.
- q factor de comportamiento.
- α razón entre la aceleración de cálculo del terreno y la aceleración de gravedad.
- γ_I factor de importancia.
- ψ_{2i} coeficiente de combinación para el valor cuasi-permanente de una acción variable i .
- ψ_{Ei} coeficiente de combinación para una acción variable i , a considerar cuando se determinan las solicitaciones de origen sísmico.

1.7 Normas de consulta

- (1)P Para la aplicación del Eurocódigo 8, se consultarán los restantes Eurocódigos, 1 a 7 y 9.
- (2) El Eurocódigo 8 incorpora referencias de otras normativas citadas en los lugares adecuados del texto. A continuación se enumeran:
- | | |
|-------------|--|
| ISO 1000 | Sistema Internacional de Unidades, y recomendaciones para el uso de sus múltiplos y de algunas otras unidades. |
| ISO 8930 | Principios generales sobre fiabilidad aplicada a las estructuras. Lista de términos equivalentes. |
| EN 1090-1 | Ejecución de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para los edificios. |
| EN 10025 | Productos laminados en caliente de aceros estructurales no aleados. Condiciones técnicas de suministro. |
| prEN 1337-1 | Aparatos estructurales de apoyo. Requisitos generales. |

2 REQUISITOS FUNDAMENTALES Y CRITERIOS DE COMPROBACIÓN

2.1 Requisitos fundamentales

- (1)P Las estructuras en las regiones sísmicas se proyectarán y construirán de tal forma que se cumplan los siguientes requisitos, cada uno con un grado adecuado de fiabilidad.
- **Requisito de no colapso:**
La estructura será proyectada y construida para resistir la acción sísmica de proyecto definida en el capítulo 4 sin que se produzca colapso local ni general, esto es, manteniendo su integridad estructural y una capacidad portante residual tras el sismo¹⁾.
 - **Requisito de limitación de daños:**
La estructura será proyectada y construida para resistir una acción sísmica con probabilidad de ocurrencia mayor que la de la acción sísmica de proyecto, sin que ocurran daños ni se produzcan las limitaciones de uso asociadas, cuyos costes serían desproporcionadamente altos en comparación con el coste de la estructura.
- (2)P El nivel de fiabilidad prefijado para el "**requisito de no colapso**" y para el "**requisito de limitación de daños**" se establecerá por las autoridades nacionales para los diferentes tipos de edificios y obra civil basándose en las consecuencias del fallo. Los valores numéricos incluidos en las disposiciones relacionadas con la seguridad –dados sólo como indicadores en este Eurocódigo– serán consistentes con los niveles de fiabilidad pretendidos.
- (3)P La diferenciación de los niveles de fiabilidad se establece clasificando las estructuras en diferentes categorías en función de su importancia. A cada categoría de importancia se le asigna un factor de importancia γ_1 . Siempre que sea posible, este factor se debería determinar de forma que se corresponda con un valor mayor o menor del período de retorno del terremoto adecuado para el proyecto de esa categoría específica de estructuras, y en relación con el valor de referencia [véase apartado 4.1(3)].
- (4) Los diferentes niveles de fiabilidad se obtienen modificando con este factor de importancia la acción sísmica de referencia o –cuando se utiliza el análisis lineal– las correspondientes solicitaciones derivadas de la acción. En las partes pertinentes del Eurocódigo 8 se ofrece una guía detallada de las categorías de importancia y de sus correspondientes factores de importancia.

1) La acción sísmica de cálculo se determina generalmente en función de un período de retorno dado que no tiene por qué coincidir necesariamente con el sismo de máxima intensidad que pueda sentirse en el emplazamiento. Se supone que mediante una selección apropiada del valor del período de retorno y una ponderación adecuada de los métodos de cálculo y de los factores de seguridad asociados, se alcanza el valor prefijado para la probabilidad de rotura.

2.2 Criterios de comprobación

2.2.1 Generalidades

- (1)P A fin de satisfacer los requisitos fundamentales expuestos en el apartado 2.1, se comprobarán los siguientes estados límite (véanse apartados 2.2.2 y 2.2.3):

– **Estado límite último**

Es el asociado con el colapso o con otras formas de fallo estructural que pueden poner en peligro la seguridad de las personas.

– **Estado límite de servicio**

Es aquel asociado con la ocurrencia de daños; corresponde a estados tras los cuales ya no se cumplen las condiciones de servicio especificadas.

- (2)P A fin de limitar las incertidumbres asociadas al comportamiento de las estructuras ante la acción sísmica de cálculo y de propiciar un buen comportamiento ante acciones sísmicas más severas que la de referencia, se tomarán además una serie de medidas específicas procedentes (véase 2.2.4).
- (3) Para estructuras de categorías de importancia bien definidas, en zonas con baja sismicidad (véase 4.1) los requisitos fundamentales pueden satisfacerse mediante la aplicación de reglas más sencillas que las dadas en las partes correspondientes del Eurocódigo 8.
- (4) En el capítulo 6 de la Parte 1-3 se dan reglas específicas para "edificios sencillos de fábrica". Cumpliendo con esas reglas, los requisitos fundamentales para tales "edificios sencillos de fábrica" se consideran satisfechos sin comprobaciones analíticas de la seguridad.

2.2.2 Estado límite último

- (1)P Se comprobará que el sistema estructural tiene la resistencia y la ductilidad especificada en las partes pertinentes del Eurocódigo 8.
- (2) La resistencia y la ductilidad que debe asignarse a la estructura están relacionadas con el grado de aprovechamiento de su respuesta no lineal. A efectos prácticos, la relación entre la resistencia y la ductilidad se caracteriza por los valores del factor de comportamiento q , los cuales vienen dados en las partes correspondientes del Eurocódigo 8. Como caso límite, para el proyecto de estructuras clasificadas como no disipativas no se tiene en cuenta la disipación por histéresis de energía, y el factor de comportamiento es 1,0. Para estructuras disipativas el factor de comportamiento se toma mayor que 1,0, teniéndose en cuenta para la disipación por histéresis de energía que dicha disipación ocurre en zonas específicamente proyectadas, llamadas zonas disipativas o zonas críticas.
- (3)P Se comprobará que la estructura en su conjunto permanecerá estable ante la acción sísmica de cálculo. Se considerará tanto la estabilidad al vuelco como al deslizamiento. Reglas específicas para la comprobación de la estabilidad al vuelco de las estructuras aparecen en las partes correspondientes del Eurocódigo 8.
- (4)P Se verificará que tanto los elementos de la cimentación como el propio suelo pueden resistir sin deformaciones permanentes sustanciales las solicitaciones de la acción resultante de la respuesta de la superestructura. En la determinación de las reacciones debe considerarse la capacidad del elemento estructural transmisor de las acciones.
- (5)P En el análisis, se tendrá en cuenta la posible influencia de los efectos de segundo orden sobre los valores de las solicitaciones derivadas de la acción.
- (6)P Se comprobará que bajo la acción sísmica de cálculo, el comportamiento de los elementos no estructurales no presenta ningún riesgo para las personas y que no tiene ningún efecto perjudicial sobre la respuesta de los elementos estructurales.

2.2.3 Estado límite de servicio

- (1)P Se asegurará un grado adecuado de fiabilidad contra daños inaceptables mediante el cumplimiento de los límites de deformación u otros límites que proceda, definidos en las partes pertinentes del Eurocódigo 8.
- (2)P En estructuras importantes para la protección civil, se verificará que el sistema estructural posee la suficiente resistencia y rigidez para mantener la función de los servicios vitales de las instalaciones ante un sismo asociado a un período de retorno apropiado.

2.2.4 Medidas específicas

2.2.4.1 Proyecto

- (1) Las estructuras deben tener formas sencillas y regulares, tanto en planta como en alzado, (véase por ejemplo el capítulo 2 de la parte 1-2). Si fuese necesario, esto se podría realizar subdividiendo la estructura mediante juntas en unidades dinámicamente independientes.
- (2)P A fin de asegurar un comportamiento dúctil del conjunto, se evitarán las roturas frágiles o la formación prematura de mecanismos inestables. En este sentido, puede que sea necesario, como se indica en las partes correspondientes de este Eurocódigo, emplear el método de cálculo basado en la capacidad de disipación, el cual se utiliza para priorizar la resistencia de los diversos componentes estructurales, necesaria para asegurar la pretendida configuración de los elementos disipativos y para evitar formas de rotura frágil.
- (3)P Dado que el comportamiento sismorresistente de una estructura depende principalmente del comportamiento de sus zonas o elementos críticos, el proyecto de la estructura en general y de estos elementos o zonas en particular asegurará el mantenimiento bajo condiciones cíclicas de la capacidad para transmitir las fuerzas necesarias y para disipar la energía. En este sentido debe recibir un cuidado especial en el proyecto el análisis de las uniones entre los elementos estructurales y de las zonas donde sea previsible un comportamiento no lineal.
- (4) A fin de limitar las consecuencias del terremoto, las autoridades nacionales pueden especificar las restricciones en altura o en otras características de la estructura, en función de la sismicidad local, de la categoría de importancia, de las condiciones del suelo, de la planificación de la ciudad y de la ordenación del territorio.
- (5)P El análisis se basará en un modelo estructural adecuado, que, cuando sea necesario, tendrá en cuenta la influencia de la deformabilidad del suelo y de los elementos no estructurales.
- (6)P No se permite ningún cambio en la estructura durante la fase de construcción, ni durante la vida posterior de la estructura, sin la adecuada justificación y comprobación. Debido a la naturaleza específica de la respuesta sísmica, esto se aplica incluso en los casos que conduzcan a un incremento de la resistencia de la estructura.

2.2.4.2 Cimentaciones

- (1)P La rigidez de la cimentación será la adecuada para transmitir al terreno, tan uniformemente como sea posible, las acciones recibidas de la superestructura.
- (2) En general, debe utilizarse un único tipo de cimentación para una misma estructura, a menos que esta última consista en unidades dinámicamente independientes.

2.2.4.3 Especificaciones de calidad

- (1)P Los documentos del proyecto indicarán los tamaños, detalles y características de los materiales de los elementos estructurales. Si procede, los documentos del proyecto incluirán también las características de los dispositivos especiales que se utilicen y las distancias entre los elementos estructurales y no estructurales. También se incluirán las disposiciones necesarias de control de calidad.

- (2)P Los elementos de especial importancia estructural que requieran una comprobación especial durante la construcción serán identificados en los planos del proyecto. En este caso, también se especificarán los métodos de comprobación que deban usarse.
- (3) En los casos de elevada sismicidad y de estructuras de importancia especial, deben usarse planos que respondan a un sistema formal de calidad y que reflejen el proyecto, la construcción y el uso, de forma adicional a los métodos de control prescritos en los demás Eurocódigos que correspondan.

3 CONDICIONES DEL SUELO

3.1 Generalidades

- (1)P Se llevarán a cabo las investigaciones apropiadas a fin de clasificar el suelo de acuerdo con las clases enumeradas en el apartado 3.2.
- (2) En el apartado 4.2 de la Parte 5 se dan guías adicionales concernientes a la investigación y clasificación del suelo.
- (3)P El emplazamiento de la construcción y la naturaleza del terreno que la sustenta debería normalmente estar libre en caso de terremoto de los riesgos de ruptura del suelo, inestabilidad de taludes y asentamientos permanentes causados por licuefacción o densificación. La posibilidad de la ocurrencia de tales fenómenos se investigará de acuerdo con el capítulo 4 de la Parte 5.
- (4) Para estructuras de pequeña importancia ($\gamma_t \leq |1,0|$) en zonas de baja sismicidad (véase apartado 4.1), pueden omitirse las investigaciones del terreno. En este caso y en ausencia de información más precisa, la acción sísmica puede determinarse suponiendo unas condiciones del terreno acordes con la clase B de subsuelo (véase 3.2).

3.2 Clasificación de las condiciones del subsuelo

- (1)P En general, la influencia de las condiciones locales del terreno sobre la acción sísmica será tomada en cuenta mediante la consideración de las tres clases de subsuelo A, B, C, descritas por los siguientes perfiles estratigráficos:

– Subsuelo clase A

- Roca u otra formación geológica caracterizada por una velocidad de la onda transversal, V_s , de, al menos, 800 m/s, incluyendo como máximo 5 m del material más débil de la superficie.
- Depósitos compactos de arena, grava o arcilla sobreconsolidada de, al menos, varias decenas de metros de espesor, caracterizados por un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad y por valores de V_s de, por lo menos, 400 m/s a una profundidad de 10 m.

– Subsuelo clase B

Depósitos profundos de arenas de densidad media, gravas o arcillas de consistencia media, con espesores desde algunas decenas a muchos centenares de metros, caracterizados por valores de V_s de, al menos, 200 m/s a 10 m de profundidad, que se incrementan hasta 350 m/s, por lo menos, a una profundidad de 50 m.

– Subsuelo clase C

- Depósitos de suelo suelto no cohesivo, con o sin algunas capas de débil cohesión, caracterizados por valores de V_s inferiores a 200 m/s en los primeros 20 m.
- Depósitos en los que predominan suelos cohesivos de rigidez débil a media, caracterizados por valores de V_s inferiores a 200 m/s en los 20 m más superficiales.

- (2) Adiciones y/o modificaciones a esta clasificación pueden ser necesarias para adaptarse mejor a las condiciones especiales del suelo.

4 ACCIÓN SÍSMICA

4.1 Zonas sísmicas

- (1)P Para los fines de este Eurocódigo, las autoridades nacionales subdividirán sus territorios nacionales en zonas sísmicas en función de la peligrosidad local. Por definición, la peligrosidad dentro de cada zona se puede suponer constante.
- (2) Para la mayoría de las aplicaciones de este Eurocódigo, la peligrosidad se describe en términos de un único parámetro, esto es, por el valor a_g de la máxima aceleración efectiva del suelo en roca o suelo consolidado, la cual a partir de ahora se llamará "aceleración de cálculo del terreno". En las partes correspondientes del Eurocódigo 8 se dan parámetros adicionales requeridos para tipos específicos de estructuras.

NOTA – El concepto de "máxima aceleración efectiva del suelo" es una aproximación para compensar la inadecuación, por lo general, del pico o valor máximo real para describir el potencial de daño del movimiento del suelo en términos de aceleración máxima y/o de velocidad inducida a las estructuras.

No hay establecida una única definición con sus técnicas correspondientes para deducir a_g a partir de las características del movimiento del suelo; realmente, los métodos varían en función de dichas características. En general, a_g tiende a coincidir con el máximo real para sismos de magnitud moderada a alta procedentes de distancias medias a largas, los cuales se caracterizan (en suelo firme) por un espectro de frecuencias ancho y aproximadamente uniforme, mientras que el valor de a_g será más o menos reducido en relación con el máximo real para terremotos próximos y de baja magnitud.

- (3) La aceleración de cálculo del terreno, seleccionada para cada zona sísmica por las autoridades nacionales, corresponde a un período de retorno de $|475|$ años. A este período de retorno se le asigna un factor de importancia γ_I igual a 1,0.
- (4) Las zonas sísmicas con una aceleración de cálculo del terreno a_g no mayor a $|0,10| \cdot g$ son zonas de baja sismicidad, para las cuales y para ciertos tipos o categorías de estructuras pueden utilizarse métodos de cálculo sismorresistente reducidos o simplificados.
- (5)P En zonas sísmicas con aceleraciones de cálculo del terreno, a_g , no mayores de $|0,04| \cdot g$, no es necesario observar las disposiciones del Eurocódigo 8.

4.2 Representación básica de la acción sísmica

4.2.1 Generalidades

- (1)P En el ámbito de aplicación del Eurocódigo 8, el movimiento sísmico en un punto dado de la superficie se representa generalmente por un espectro elástico de respuesta de la aceleración del suelo, llamado en lo sucesivo "espectro elástico de respuesta".
- (2)P La acción sísmica horizontal se describe mediante dos componentes ortogonales, consideradas independientes y representadas por el mismo espectro de respuesta.
- (3) A no ser que estudios específicos indiquen lo contrario, la componente vertical de la acción sísmica debe representarse por el espectro de respuesta, tal como se define para la acción sísmica horizontal, pero con las ordenadas reducidas de la siguiente manera:
- Para períodos de vibración T menores de 0,15 s, se multiplican las ordenadas por un factor de $|0,70|$.
 - Para períodos de vibración T mayores de 0,50 s, se multiplican las ordenadas por un factor de $|0,50|$.
 - Para períodos de vibración T entre 0,15 s y 0,50 s, se usará una interpolación lineal.

- (4) En condiciones especiales puede necesitarse más de un espectro para representar adecuadamente la peligrosidad sísmica de una zona. Esto puede ser necesario cuando los terremotos que afecten a la zona sean generados por fuentes que difieran mucho en distancia, mecanismo focal o geología de la trayectoria, como ocurre en el caso de terremotos superficiales frente a los de profundidad intermedia. En tales circunstancias, normalmente se requerirían diferentes valores de a_g y diferentes formas del espectro de respuesta para cada tipo de terremoto.
- (5) Para estructuras importantes en zonas de elevada sismicidad, se recomienda considerar los efectos de ampliación topográfica de acuerdo con el Anexo B de la Parte 5.
- (6) Pueden utilizarse representaciones alternativas del movimiento sísmico, por ejemplo, el espectro de potencia o acelerogramas de cálculo (historia temporal), (véase apartado 4.3).
- (7) Para tipos específicos de estructuras, puede ser necesario tener en cuenta la tolerancia de la variación espacial y temporal del movimiento del suelo (véanse partes 2, 3 y 4).

4.2.2 Espectro elástico de respuesta

- (1)P El espectro elástico de respuesta $S_e(T)$ para el período de retorno de referencia se define por las siguientes expresiones (véase figura 4.1):

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot \beta_0 \cdot 1) \right] \quad (4.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \quad (4.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_1} \quad (4.3)$$

$$T_D \leq T: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \left[\frac{T_C}{T_D} \right]^{k_1} \cdot \left[\frac{T_D}{T} \right]^{k_2} \quad (4.4)$$

donde

$S_e(T)$ es la ordenada del espectro elástico de respuesta;

T es el período de vibración de un sistema lineal con un grado de libertad;

a_g es la aceleración de cálculo del terreno, para el período de retorno de referencia;

β_0 es el factor de amplificación de la aceleración espectral para un amortiguamiento viscoso del 5%;

T_B, T_C son los límites del tramo de aceleración espectral constante;

T_D es el valor que define el comienzo del tramo de desplazamiento constante del espectro;

k_1, k_2 son los exponentes que definen la forma del espectro para un período de vibración mayor de T_C, T_D respectivamente;

S es el parámetro del suelo;

η es el factor de corrección del amortiguamiento, con valor de referencia $\eta = 1$ para un amortiguamiento viscoso del 5%, véase (6).

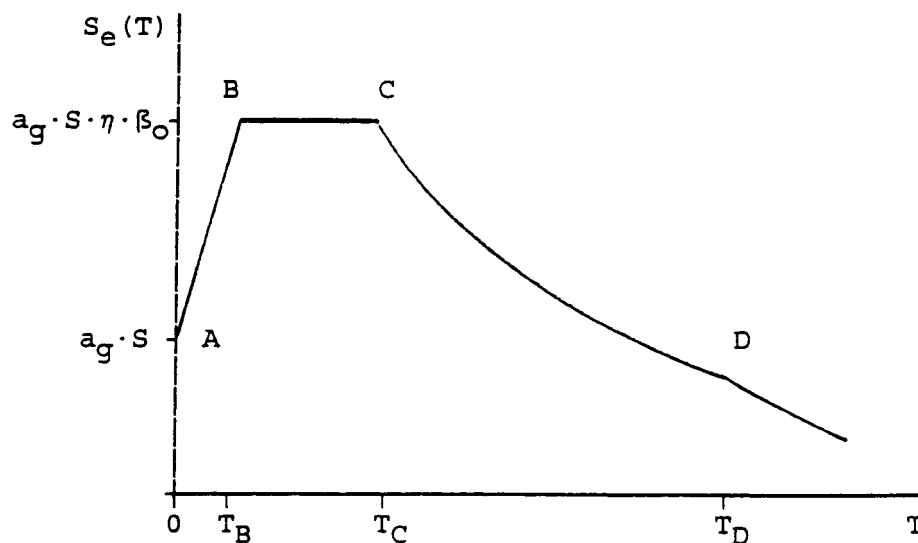


Fig. 4.1 – Espectro elástico de respuesta

- (2) Para las tres clases de subsuelo A, B y C, los valores de los parámetros β_0 , T_B , T_C , T_D , k_1 , k_2 , S están dados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1
Valores de los parámetros que describen el espectro elástico de respuesta*

Clases de subsuelo	S	β_0	k_1	k_2	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0
B	1,0	2,5	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0
C	0,9	2,5	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0

* Estos valores han sido seleccionados para que las ordenadas del espectro elástico de respuesta tengan una probabilidad de excedencia uniforme para todos los períodos (espectro de probabilidad uniforme), igual al 50%.

- (3) Cuando el perfil del subsuelo incluye una capa superficial de aluvión de espesor variable entre 5 m y 20 m situada sobre materiales mucho más rígidos de clase A, puede usarse la forma del espectro para el subsuelo de clase B conjuntamente con un parámetro del suelo S incrementado, igual a | 1,4 |, a no ser que se realice un estudio especial.
- (4) Pueden ser necesarios estudios especiales para la definición de la acción sísmica en emplazamientos con condiciones de suelo que no correspondan a ninguna de las tres clases de subsuelo A, B, C.
- (5) Se debe prestar especial atención al caso de un depósito de subsuelo clase C que conste o contenga una capa de al menos 10 m de espesor de arcillas/aluviones con un alto índice de plasticidad ($IP > 40$) y un elevado contenido de agua. Típicamente estos suelos tienen valores muy bajos de v_s , bajo amortiguamiento interno y un comportamiento lineal en un rango anormalmente extenso; por lo tanto, pueden producir una anómala amplificación sísmica en el emplazamiento y efectos de interacción suelo-estructura; véase el capítulo 6 de la Parte 5. En este caso, debería llevarse a cabo un estudio especial para la definición de la acción sísmica a fin de establecer la dependencia del espectro de respuesta del espesor y del valor de la v_s de la capa blanda de arcillas/aluviones y del contraste de rigidez entre esta capa y los materiales subyacentes.

- (6) El valor del factor de corrección del amortiguamiento η , puede determinarse por la expresión

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \xi)}} \geq 0,7 \quad (4.5)$$

donde ξ es el valor de la razón de amortiguamiento viscoso de la estructura expresada en porcentaje (porcentaje de amortiguamiento crítico). Si para estudios especiales tiene que considerarse una razón de amortiguamiento viscoso diferente del 5%, su valor se indicará en las partes del Eurocódigo 8 que corresponda.

4.2.3 Desplazamiento máximo del suelo

- (1) A no ser que estudios especiales basados en la información disponible indiquen lo contrario, el valor d_g del desplazamiento máximo del suelo puede estimarse por medio de la siguiente expresión

$$d_g = [0,05] \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad (4.6)$$

con los valores de a_g , S , T_C , T_D definidos en el apartado 4.2.2.

4.2.4 Espectro de cálculo para análisis lineal

- (1) La capacidad de los sistemas estructurales para resistir las acciones sísmicas en el rango no lineal permite generalmente proyectarlos para fuerzas menores que las que corresponden a una respuesta elástica lineal.
- (2) Para evitar en el proyecto un análisis estructural explícitamente no lineal, se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía de la estructura –principalmente a través del comportamiento dúctil de sus elementos y/o de otros mecanismos– mediante la realización de un análisis lineal basado en un espectro de respuesta reducido con respecto al elástico, llamado en lo sucesivo "espectro de cálculo". Esta reducción se consigue mediante la introducción del factor de comportamiento q . Además, se utilizan por lo general exponentes k_{d1} y k_{d2} modificados.
- (3) El factor de comportamiento q es una aproximación al cociente entre las fuerzas sísmicas que la estructura experimentaría si su respuesta fuese completamente elástica con un amortiguamiento viscoso del 5%, y las mínimas fuerzas sísmicas que con un modelo lineal convencional pueden considerarse en el cálculo, asegurando todavía una respuesta satisfactoria de la estructura. Los valores del factor de comportamiento q , en el que también influye que el amortiguamiento viscoso sea diferente del 5%, están dados, para los diversos materiales y sistemas estructurales y de acuerdo con diferentes niveles de ductilidad, en las partes correspondientes del Eurocódigo 8.
- (4)P Para el período de retorno de referencia, el espectro de cálculo $S_d(T)$, normalizado para la aceleración de la gravedad g , se define por las siguientes expresiones:

$$0 \leq T \leq T_B: \quad S_d(T) = \alpha \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{\beta_0}{q} - 1 \right) \right] \quad (4.7)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = \alpha \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \quad (4.8)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_d(T) \begin{cases} = \alpha \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_{d1}} \\ \geq [0,20] \cdot \alpha \end{cases} \quad (4.9)$$

$$T_D \leq T: \quad S_d(T) \begin{cases} = \alpha \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T_D} \right]^{k_{d1}} \cdot \left[\frac{T_D}{T} \right]^{k_{d2}} \\ \geq [0,20] \cdot \alpha \end{cases} \quad (4.10)$$

donde

$S_d(T)$ es la ordenada del espectro de cálculo, normalizada al valor de g ;

α es el cociente entre la aceleración del suelo de cálculo, a_g , y la aceleración de gravedad, g ($\alpha = a_g/g$);

q es el factor de comportamiento;

k_{d1}, k_{d2} son los exponentes que influyen en la forma del espectro de cálculo para un período de vibración mayor que T_C , T_D respectivamente.

- (5) Los valores de los parámetros β_0 , T_B , T_C , T_D , S se dan en la tabla 4.1, los valores de los parámetros k_{d1} , k_{d2} se dan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2
Valores de k_{d1} y k_{d2}

Clases de subsuelo	k_{d1}	k_{d2}
A	$ 2/3 $	$ 5/3 $
B	$ 2/3 $	$ 5/3 $
C	$ 2/3 $	$ 5/3 $

- (6)P El espectro de cálculo definido anteriormente no es aplicable al proyecto de estructuras con aislamiento en la base o con sistemas de disipación de energía.

4.3 Representaciones alternativas de la acción sísmica

4.3.1 Representación del espectro de potencia

- (1)P El movimiento sísmico en un punto dado de la superficie del suelo puede representarse también como un proceso aleatorio, definido por un espectro de potencia –esto es, la función de densidad espectral de potencia del proceso de aceleración– asociado con una cierta duración y consistente con la magnitud y otras características relevantes del terremoto.
- (2)P El espectro de potencia será consistente con el espectro elástico de respuesta utilizado para la definición básica de la acción sísmica de acuerdo con el apartado 4.2.2.
- (3) Se considera que se ha logrado la consistencia cuando los valores del fractil 50% de la distribución de los máximos de la respuesta de un sistema con un único grado de libertad sometido a un proceso aleatorio definido por el espectro de potencia, coincida, con una tolerancia de $| \pm 10\% |$ y en el rango de períodos de 0,20 s a 3,5 s, con las ordenadas del espectro elástico de respuesta dado en el apartado 4.2.2.
- (4)P El movimiento sísmico consistirá en tres procesos aleatorios independientes, actuando simultáneamente a lo largo de dos ejes x e y horizontales, ortogonales y elegidos arbitrariamente, y del eje vertical z , estando además este proceso escalado apropiadamente de acuerdo con el apartado 4.2.1 (3). Son posibles simplificaciones de acuerdo con las Partes correspondientes del Eurocódigo 8.

4.3.2 Acelerogramas de cálculo

4.3.2.1 Generalidades

- (1)P El movimiento sísmico también puede representarse por medio de registros temporales de la aceleración del suelo y magnitudes relacionadas (velocidad y desplazamiento).

- (2)P Cuando se requiera un modelo espacial, el movimiento sísmico constará de tres acelerogramas actuando simultáneamente. El mismo acelerograma no se puede utilizar al mismo tiempo en las dos direcciones horizontales. Son posibles simplificaciones de acuerdo con lo especificado en las partes correspondientes del Eurocódigo 8.
- (3) Dependiendo de la naturaleza de la aplicación y de la información realmente disponible, la descripción del movimiento sísmico puede realizarse mediante la utilización de acelerogramas artificiales (véase apartado 4.3.2.2) y acelerogramas reales (registrados) o simulados (véase 4.3.2.3).

4.3.2.2 Acelerogramas artificiales

- (1)P Los acelerogramas artificiales serán generados de forma que coincidan con el espectro elástico de respuesta, dado en el apartado 4.2.2.
- (2)P La duración de los acelerogramas será consistente con la magnitud y con las demás características relevantes del sismo que influyen en la determinación de a_g .
- (3) Cuando no se disponga de datos específicos, la duración mínima, T_s , de la parte estacionaria de los acelerogramas para las zonas epicentrales debe correlacionarse con el valor de $\gamma_I \cdot \alpha$ ($= \gamma_I \cdot a_g/g$) tal como se indica en la tabla 4.3.

Tabla 4.3
Duración T_s de la parte estacionaria de los
acelerogramas generados como una
función de $\gamma_I \cdot \alpha$ para zonas epicentrales

$\gamma_I \cdot \alpha$	0,10	0,20	0,30	0,40
T_s	10 s	15 s	20 s	25 s

- (4)P Se utilizará un número suficiente de acelerogramas para obtener una medida (media y varianza) estadísticamente estable de los valores de interés de la respuesta. El contenido en frecuencia y amplitud de los acelerogramas se elegirá de forma que con su uso se obtenga en un nivel de fiabilidad del mismo orden de magnitud del que implicaría el uso del espectro elástico de respuesta del apartado 4.2.2.
- (5) Se estima que se cumple el párrafo (4)P si se observan las siguientes reglas:
- Se utiliza un mínimo de | 5 | acelerogramas.
 - La media de los valores de la respuesta espectral de la aceleración para el período cero (calculada a partir de cada uno de los acelerogramas o historias temporales de cálculo) no es menor que el valor de $a_g \cdot S$ para el emplazamiento en cuestión.
 - Para el rango de períodos del espectro elástico de respuesta entre T_B y T_C y para el emplazamiento en cuestión, el promedio de los valores del espectro medio obtenido a partir de todos los acelerogramas o historias temporales de cálculo (calculadas con un número apropiado de períodos de control) no es inferior al valor $a_g \cdot S \cdot \beta_0$ del espectro elástico de respuesta.
 - Ningún valor del espectro medio –calculado a partir de todos los acelerogramas o historias temporales de cálculo– resulta ser más de un 10% inferior que el valor correspondiente del espectro elástico de respuesta.

4.3.2.3 Acelerogramas simulados o reales

- (1)P Está permitido el uso de acelerogramas reales o de acelerogramas generados mediante una simulación física de los mecanismos de la fuente y de la trayectoria, con la condición de que las muestras utilizadas (que no serán menos de 3) estén en consonancia con las características sismogénicas de las fuentes y con las condiciones del suelo del emplazamiento, y de que sus valores se escalen al valor $a_g \cdot S$ correspondiente a la zona que se considera.
- (2)P Para los análisis de amplificación del suelo y para la comprobación de la estabilidad dinámica de los taludes, véase el apartado 2.2 de la Parte 5.

4.3.3 Modelo espacial de la acción sísmica

- (1)P Para estructuras con características especiales en las que no se pueda formular razonablemente la hipótesis de que sufran la misma excitación en todos los puntos de apoyo, se utilizarán modelos espaciales de la acción sísmica [véase 4.2.1 (7)].
- (2)P Estos modelos espaciales serán consistentes con los espectros elásticos de respuesta utilizados en la definición básica de la acción sísmica, de acuerdo con el apartado 4.2.2.

4.4 Combinaciones de la acción sísmica con otras acciones

- (1)P El valor de cálculo E_d de las solicitaciones para el caso de proyecto sismorresistente se determinará combinando los valores de las acciones que proceda de la siguiente forma (véase Parte 1 del Eurocódigo 1):

$$\sum G_{kj} + \gamma_I \cdot A_{Ed} + P_k + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki} \quad (4.11)$$

donde

"+" implica "se combina con";

Σ implica "el efecto combinado de";

G_{kj} es el valor característico de la acción permanente j ;

γ_I es el factor de importancia, véase 2.1 (3);

A_{Ed} es el valor de cálculo de la acción sísmica para el período de retorno de referencia, (por ejemplo, espectro de cálculo de acuerdo con el apartado 4.2.4);

P_k es el valor característico de la acción de pretensado, después de la ocurrencia de todas las pérdidas;

ψ_{2i} es el coeficiente de combinación para el valor cuasi-permanente de la acción variable i ;

Q_{ki} es el valor característico de la acción variable i .

- (2)P Las solicitaciones de origen sísmico se evaluarán teniendo en cuenta la presencia de todas las cargas gravitatorias que aparecen en la siguiente combinación de acciones:

$$\sum G_{kj} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} \quad (4.12)$$

donde

ψ_{Ei} es el coeficiente de combinación para la acción variable i .

- (3) Los coeficientes de combinación ψ_{Ei} tienen en cuenta la verosimilitud de que las cargas $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ no estén presentes en ninguna parte de la estructura durante la ocurrencia del terremoto. Estos coeficientes tienen también en cuenta una reducida participación de las masas en el movimiento de la estructura debido a una unión no rígida entre ellas.
- (4) Los valores ψ_{2i} se dan en la Parte 1 del Eurocódigo 1 y los valores de ψ_{Ei} aparecen en las partes pertinentes del Eurocódigo 8.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono (91) 432 60 00

Fax (91) 310 40 32