



Los eurocódigos de estructuras

JAVIER LAHUERTA, PROF. DR. ARQUITECTO

INDICE

1 INTRODUCCION

- 1.1 Los Eurocódigos
- 1.2 Fines de los Eurocódigos
- 1.3 Bases de los Eurocódigos
- 1.4 Aplicación de los Eurocódigos
- 1.5 Eurocódigos que se comentan

2 EUROCODIGO 1 REGLAS COMUNES

- 2.1 Objeto
- 2.2 Exigencias
- 2.3 Los estados límites
- 2.4 Acciones
- 2.5 Combinaciones de acciones
- 2.6 Propiedades de los materiales
- 2.7 Modelos matemáticos y experimentales
- 2.8 Supervisión y conformidad

3 EUROCODIGO 2 ESTRUCTURAS DE HORMIGON

- 3.1 Generalidades
- 3.2 Métodos de análisis
- 3.3 Hormigones
- 3.4 Hormigones ligeros
- 3.5 Aceros
- 3.6 Solicitaciones normales y transversales
- 3.7 Pandeo
- 3.8 Estados límites de utilización
- 3.9 Otras reglas

4 EUROCODIGO 5 ESTRUCTURAS DE MADERA

- 4.1 Generalidades
- 4.2 Bases de concepción y de cálculo
- 4.3 Materiales
- 4.4 Cálculo de piezas
- 4.5 Flexopandeo
- 4.6 Vigas de canto variable y vigas curvas
- 4.7 Elementos compuestos
- 4.8 Uniones

5 EUROCODIGO 6 ESTRUCTURAS DE FABRICA

- 5.1 Generalidades

- 5.2 Piezas de fábrica
- 5.3 Morteros
- 5.4 Resistencia a compresión de las fábricas
- 5.5 Resistencia a corte y flexotracción
- 5.6 Propiedades de deformación
- 5.7 Proyecto con fábricas
- 5.8 Muros con cargas verticales

1. INTRODUCCION

1.1 Los Eurocódigos

En 1979 La Comisión de las Comunidades Europeas, encargo a equipos de especialistas la redacción de una serie de Códigos para la concepción, el dimensionamiento y la ejecución de las estructuras y elementos estructurales de las obras de edificación y de ingeniería en los países de la Comunidad Económica. Posteriormente se ha incorporado España a las Comunidades Europeas, por lo que los denominados Eurocódigos nos afectan también.

Inicialmente se previó la redacción de los ocho Eurocódigos del diagrama 1, en el que figuran las correspondientes normas españolas actuales.

Han sido publicados siete y está en preparación el n.º 7.

1.2 Fines de los Eurocódigos

Los Eurocódigos persiguen como fines principales los que figuran en el diagrama 2.

Las reglas de concepción y de dimensionamiento de los Eurocódigos podrán adaptarse en los países de la Comunidad Europea como alternativa a las de los respectivos Reglamentos nacionales.

El nivel de seguridad de las construcciones se definirá por cada Estado miembro según sus exigencias nacionales.-

1.3 Bases de los Eurocódigos

Los equipos redactores de los Eurocódigos han seguido los criterios que figuran en el diagrama 3

Las unidades adoptadas en los Eurocódigos son las del Sistema Internacional de Unidades de Medida S.I. Este Sistema se declaró de uso legal en España por la Ley 88 / 67 (B.O.E. 1967.11.10), aunque las Normas Españolas continúan utilizando el sistema Metro-Kilopondio-Segundo, con carácter transitorio.

Las notaciones de los Eurocódigos se basan en la Norma ISO-3898. Algunas Normas Españolas están utilizando notaciones que difieren de ésta sólo en algunos detalles.

1 EUROCODIGOS DE ESTRUCTURAS		
Normas españolas		
E C 1	REGLAS UNIFICADAS COMUNES	Parcialmente MV 101-1962
E C 2	ESTRUCTURAS DE HORMIGON	Instrucciones EH 88 y EP 80
E C 3	ESTRUCTURAS DE ACERO	Normas MV 103 y MV 104
E C 4	ESTRUCTURAS MIXTAS ACERO-HORM.	No existe
E C 5	ESTRUCTURAS DE MADERA	No existe
E C 6	ESTRUCTURAS DE FABRICA	Norma MV 201-1972
E C 7	CIMENTACIONES (No publicada)	Muy parcialmente MV 101-1962
E C 8	ESTRUCTURAS EN ZONAS SISMICAS	Norma PDS-1-1974



1.4 Aplicación de los Eurocódigos

Los Eurocódigos serán aplicables a una construcción cuando se den en ella las siguientes circunstancias:

— El proyecto de la Construcción se redacte por personal calificado y experimentado.

— El control de la ejecución se realice adecuadamente en el taller y en la obra.

— El mantenimiento se efectúe por personal que tenga la calificación y la experiencia requeridas.

— Las condiciones de uso no sufran cambio durante la vida de la estructura. Si el cambio fuese preciso se requiere un nuevo cálculo.

Los Eurocódigos ofrecen criterios de proyecto y cálculo para que puedan adoptarse en los Países miembros en

sustitución de las Normas nacionales. La seguridad de las estructuras se definirá en cada País según sus propias exigencias, mediante los valores de los coeficientes de seguridad y otros requisitos. Se prevé pueda llegarse a la adopción gradual de valores comunes.

Los controles de proyecto y ejecución, y la concesión de licencias de obra, quedarán sometidos a la legislación nacional. Igualmente aquellos detalles técnicos no tratados en los Eurocódigos, o que pudiesen serlo con normas de ámbito general.

1.5 Eurocódigos que se comentan

Se tratará aquí con el máximo detalle posible que permite el tiempo disponible del Eurocódigo n.º 1 Reglas comunes y del Eurocódigo n.º 2 Estructuras de hor-

migón, comparado con las Instrucciones E.H.-88 y E.P.-80.

No se mencionarán los Eurocódigos n.º 3 Estructuras de acero, que no tienen norma correlativa en España y del n.º 4 Estructuras mixtas de acero-hormigón cuyos aspectos fundamentales fueron tratados en una sesión anterior.

Se tratará del Eurocódigo n.º 5 Estructuras de madera, que no tiene norma correlativa en España y del n.º 6 Estructuras de fábrica, comparado con la Norma básica M.V. 201-1972.

El Eurocódigo n.º 7 no ha sido publicado. Y por escasez de tiempo y su especialización tampoco se tratará el Eurocódigo n.º 8 Estructuras en zonas sísmicas.

Como se irá viendo en cada uno de los que van a comentarse, las modificaciones que van a introducirse en el cálculo son de entidad suficiente para que cuando se apliquen haya que modificar la mayoría de los textos, las tablas de cálculo y los programas de ordenador que actualmente utilizamos.

Hay algunas cuestiones que son bastante discutibles y que es de suponer que sufran modificaciones, y en todo caso el uso generalizado de los Eurocódigos tardará probablemente en efectuarse bastantes años.

A nosotros nos costará aun más el paso, porque tendrá que generalizarse el cambio de kp por el N.

2. EUROCODIGO N.º 1 REGLAS COMUNES

2.1. Objeto

El Eurocódigo n.º 1. Reglas unificadas comunes a todo tipo de estructuras y de materiales, indica en su artículo n.º 1 que su objeto es establecer las bases comunes que se seguirán en la redacción de los restantes Eurocódigos de estructuras de edificación y de Ingeniería. Bases que definen la seguridad, el comportamiento en servicio y la durabilidad de las estructuras cualquiera que sea su material y tipo. Se exceptúan las cuestiones específicas de estructuras especiales, como grandes presas, centrales nucleares, plataformas marinas, etc., que requieren reglamentaciones peculiares.

Considera solamente cuestiones técnicas, de modo que la redacción de los proyectos y la ejecución de las obras seguirán los procedimientos administrativos y legales vigentes en cada País.

El EC 1 no está destinado a su uso directo en el cálculo de una estructura, a la cual se aplicarán los Eurocódigos EC2 a

2	FINES DE LOS EUROCODIGOS DE ESTRUCTURAS Figuran en EC1 y los repiten los demás
— PROMOVER EL FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO COMUN, ELIMINANDO TRABAS CAUSADAS POR EL EMPLEO DE REGLAS DIVERGENTES.	
— DAR REGLAS TECNICAS COMUNES PARA COORDINAR LOS PROCEDIMIENTOS DE ADJUDICACION DE LOS CONTRATOS PUBLICOS, QUE PUEDAN APLICARSE COMO ALTERNATIVA A LAS REGLAS NACIONALES.	
— REFORZAR LA POSICION COMPETITIVA DE LA INDUSTRIA EUROPEA DE LA CONSTRUCCION Y PROFESIONES AFINES EN PAISES EXTERIORES A LA COMUNIDAD.	
— ESTABLECER BASES ARMONICAS PARA NORMAS FUTURAS DE PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCION, APROXIMANDO LAS DE LOS ESTADOS MIEMBROS.	

3	EUROCODIGOS DE ESTRUCTURAS CRITERIOS SEGUIDOS EN SU REDACCION
NO LIMITARSE A ARMONIZAR LOS METODOS DE CALCULO Y LAS PRESCRIPCIONES EN VIGOR EN LOS PAISES DE LA COMUNIDAD EUROPEA	
INTRODUCIR METODOS DERIVADOS DE LA EVOLUCION DE LOS ESTADOS LIMITES Y DE LA CONCEPCION PROBALISTA DE LA SEGURIDAD	
BASARSE EN TRABAJOS INTERNACIONALES PROCEDENTES DE : J. C. S. S. COMISION I.A. PARA LA SEGURIDAD DE LAS ESTRUCTURAS C. E. B. COMITE EURO-INTERNACIONAL DEL HORMIGON C. E. C. M. CONVENCION EUROPEA DE LA CONSTRUCCION METALICA C. I. B. CONSEJO INTERNACIONAL DE LA EDIFICACION F. I. P. FEDERACION INTERNACIONAL DEL PRETENSADO	
PUBLICARLOS COMO PROYECTOS PARA SER ESTUDIADOS POR LOS AFECTADOS RECOMENDANDO SE ENVIE COMENTARIOS PARA LA REDACCION DEFINITIVA	



EC8 que corresponden a sus características.

Indica que la seguridad, funcionalidad y durabilidad de una estructura, exigen que tenga: La adecuada calidad en el proyecto, verificada mediante los controles oportunos. La calidad establecida para los procesos de fabricación y de ejecución de obra, que serán igualmente objeto de controles. La cualificación y experiencia del personal que participa en la realización de cada una de las fases del proyecto y ejecución. Que se efectúe eficazmente el mantenimiento establecido durante la vida de la estructura.

2.2 Exigencias

El Eurocódigo n.º 1 señala que toda estructura, considerando su vida y su coste, será apta para su uso, **con probabilidad aceptable**, es decir suficientemente baja de que deje de serlo, según las condiciones técnicas y económicas del País. No se evalúa esta probabilidad, se indica solamente que será función de los riesgos de vidas humanas y de los daños materiales que pueda acarrear la ruina de la estructura. La estructura y su cimentación serán capaces de soportar todas las acciones que puedan ejercerse durante su ejecución y su vida. Todo elemento de la estructura tendrá la resistencia necesaria para que su fallo no pueda producir un daño desproporcionado a la causa que lo origina.

Por ello se indica que es importante la configuración general de la estructura, su hiperestatismo y la probabilidad de redistribución de sollicitaciones. Y también que las acciones horizontales de viento o sismo puedan equilibrarse adecuadamente con las verticales permanentes. Asimismo en el Eurocódigo n.º 1 se indica que las Normas nacionales pueden establecer coeficientes de seguridad diferentes según las circunstancias:

- Rigor de las hipótesis de cálculo.
- Nivel de control de los cálculos.
- Nivel de control de calidad de los materiales y de la ejecución.

Las normas estructurales españolas consideran todo esto desde hace uno o dos decenios.

2.3 Los estados límites

Estado límite según el Eurocódigo n.º 1 es un estado de la estructura, producido por un sistema de acciones, en el que deja de cumplir algunas de las funciones esenciales.

Dos clases de estados límites se consideran:

Estados límites últimos. Se produce ruina en toda la estructura o en parte de ella por inestabilidad estática o elasto-plástica de segundo orden. Agotamiento de la capacidad resistente de uno o más elementos esenciales o de sus medios de unión, por acciones estáticas, fatiga con acciones repetitivas, etc.

Estados límites de utilización. Se produce insatisfacción de las condiciones funcionales por: Deformaciones, inaceptables por aspecto, daño de elementos no estructurales, etc. Vibraciones origen de molestias. Fisuración que daña la durabilidad, etc.

La situación en que aparece un estado límite, según el Eurocódigo n.º 1, puede ser:

Duradera. De lapso análogo al de la vida del edificio. Corresponde a las de uso ordinario de la estructura.

Transitoria. De lapso corto y aparición probable. Por ejemplo las producidas durante la ejecución o reparación.

Fortuita. De lapso corto y aparición improbable. Por ejemplo las producidas durante un accidente.

El concepto de estado límite y clasificación de estos, coincide en lo esencial con lo establecido explícitamente en algunas de las Normas Españolas desde 1977 (E.H.-88, E.P.-80). Implícitamente figuró desde 1972 (M.V.-103 y 201).

Las acciones son objeto del Eurocódigo EC 1. Los estados límites a tener en cuenta según la clase de material empleado en la estructura y los parámetros geométricos inherentes a este se definen en los Eurocódigos n.º 2 a 8. El Eurocódigo n.º 1 establece que la comprobación de la seguridad, y de la funcionalidad se efectúe por método semiprobabilístico mediante **coeficientes parciales** que permiten distinguir la influencia

de variaciones procedentes de distintas causas.

2.4 Acciones

Según EC 1, **acción** es un conjunto de fuerzas (acción directa), o de deformaciones (acción indirecta) debido a una misma causa, que se impone a una estructura.

Por su temporalidad las acciones se clasifican en permanentes, variables y accidentales.

Acción permanente. Su magnitud y posición es cuasiconstante en el curso del tiempo, salvo reforma de la construcción. Se consideran acciones permanentes: las concargas, las acciones de pretensado, algunas acciones de empuje, las acciones reológicas estabilizadas, y otras.

Acción variable. Su magnitud y/o posición varían en el curso del tiempo, con apreciable recurrencia. Se consideran acciones variables: las sobrecargas de uso, las de ejecución, las de nieve, las de empuje, las de viento, las reológicas no estabilizadas y otras.

Acción accidental. Su magnitud y/o posición varían en el curso del tiempo sin apreciable recurrencia, y con valores definidos en las correspondiente Normas. Se consideran acciones accidentales: las acciones sísmicas, las de impacto, las de incendio y otras.

Aunque el EC 1 no lo indica, debe considerarse una cuarta clase, **acciones fortuitas**, de carácter catastrófico, con valores superiores a los máximos definidos en las correspondientes Normas o no consideradas en ellas. El autor del proyecto no está obligado a tenerlas en cuenta, salvo que el promotor las especifique en el contrato de encargo del

4	ACCIONES EN VALOR CARACTERISTICO	NOTACIONES PARA LAS COMBINACIONES
Acción permanente desfavorable	G_{Dk}	
Acción permanente favorable	G_{Fk}	
Acción variable principal	Q_{1k}	
Acciones variables restantes ($i = 2, 3, \dots$)	Q_{ik}	
Acción accidental (sísmica o de otra clase)	F_{ak}	

proyecto, en cuyo caso tienen consideración de accidentales.

Según la respuesta de la estructura, las acciones pueden ser: **estáticas**, que no ocasionan a la estructura aceleraciones significativas, y **dinámicas**, que las ocasionan. La clasificación de una acción estática o dinámica depende por tanto de la estructura. En muchos casos una acción dinámica se trata como estática mediante un coeficiente de amplificación dinámico. En otros casos puede dar lugar a fenómenos de fatiga.

Los **valores** de las acciones son variables estocásticas, funciones del tiempo. En cada acción se considera su **valor característico**, en general dado en la correspondiente Norma de acciones asociado a la probabilidad 0,05 de ser sobrepasado en la vida característica

del edificio de 50 años. Las notaciones fundamentales se dan en el diagrama 4

Si la vida del edificio se elige mayor de 50 años por la categoría del edificio, o menor por ser una edificación provisional, los valores característicos de las acciones se multiplican por un coeficiente de corrección.

2.5 Combinación de acciones

Sobre una estructura se ejercen combinadamente acciones que en general son de varias naturalezas: gravitatorias, nieve, viento, sismo, etc.; permanentes, variables o accidentales.

La probabilidad de que alcancen simultáneamente los **valores característicos** de cada una es mucho menor que su valor individual 0,05.

El **valor de cálculo** de cada caso de combinación de acciones, con el que se obtiene la sollicitación que se compara con la que origina un **estado límite**, debe tener la misma probabilidad, que se considera suficientemente baja. Esto se intenta conseguir en el EC 1 mediante el empleo de los coeficientes de ponderación de acciones, dados en el diagrama 5 y de los tres coeficientes de simultaneidad de acciones en el diagrama 6.

En los **estados límites últimos** se consideran las **combinaciones fundamentales**, que sean necesarias para obtener las sollicitaciones más desfavorables de cada elemento. Y las **combinaciones accidentales** si son previsibles acciones accidentales (sismo, impacto de vehículos, etc.). Las expresiones se dan en el diagrama 7.

En los **estados límites de utilización** se consideran: **Combinaciones cuasi-permanentes** para determinar por ejemplo efectos reológicos como las flechas diferidas por fluencia y retracción. **Combinaciones frecuentes**, para determinar por ejemplo efectos de fisuración. Y **combinaciones infrecuentes**, por ejemplo para las flechas instantáneas máximas. En cada uno de los EC se puntualizará el empleo de unas y otras combinaciones. Las expresiones se dan en el diagrama 8.

2.6 Propiedades de los materiales

El EC 1 indica que los materiales, y los suelos, tiene propiedades que se definen por variables físicas mensurables, fijas, o dependiendo del tiempo, y de efectos presentes o pasados. Se determinan, en general, por ensayos normalizados realizados sobre probetas adecuadas, representativas de la población afectada.

Estructuralmente las propiedades más específicas son:

- Resistencia, a compresión, tracción, etc.
- Módulo de elasticidad y coeficiente de POISSON.
- Líneas tensión-dilatación.
- Peso específico.
- Angulo de rozamiento interno, etc.

Valor característico de una propiedad de un material de suministro continuo es el que tiene una determinada probabilidad, o sea un cuantil de la distribución, generalmente 0,95, de no ser alcanzado. Las Normas Nacionales suelen definirlos y se intenta llegar a establecer unos valores aceptados en toda la Comunidad Europea.

La **respuesta** de la estructura, o de un elemento de ésta, o de una sección del elemento, se obtiene mediante el co-

5 COEFICIENTES DE PONDERACION DE ACCIONES		
Acción	Coeficientes cuando el efecto es:	
	Desfavorable	Favorable
Permanente	$\gamma_{GD} = 1,35$	$\gamma_{CF} = 1,00$
Pretensado (1)	$\gamma_{PD} = 1,20$	$\gamma_{PF} = 0,90$
Variable	$\gamma_Q = 1,50$	0
Indirecta (2)	$\gamma_{IN} = 1,50$	0
Indirecta (3)	$\gamma_{IL} = 1,20$	0

(1) Con acero de alta resistencia
 (2) Deformación impuesta variable con análisis no lineal
 (3) Con análisis lineal

6 COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD DE ACCIONES				
Origen de la acción	Tipo de edificio	De combinación %	De frecuencia %	De cuasi-permanencia %
Uso	Viviendas	0,5-0,7(1)	0,4	0,2
	Oficinas y comercios	0,7	0,6	0,3
	Aparcamientos	0,7	0,7	0,6
Viento	Todos	0,7(2)	0,2(2)	0
Nieve	Todos	0,7(2)	0,2(2)	0(2)
Temperatura	Todos	?		

(1) Posiblemente en función del número de pisos
 (2) Variables según el emplazamiento



rrispondiente EC con las **resistencias de cálculo** de los materiales. Estas se obtienen aplicando a los valores característicos los **coeficientes de minoración de la EC**.

Los parámetros geométricos que se emplean para el cálculo de la respuesta se dan inicialmente con su valor nominal, que se establece en los planos de estructura. Puede ser necesario utilizar un valor de cálculo, igual al valor nominal, más o menos la tolerancia establecida. Esto generalmente no suele hacerse, estableciendo el correspondiente coeficiente de minoración considerando estas desviaciones no superiores a las tolerancias prescritas.

2.7 Modelos matemáticos y experimentales

En cada Eurocódigo se establecerán, para cada estado límite particular, **modelos matemáticos** que representen el comportamiento de la estructura, considerando las variables pertinentes.

Deben tener la precisión necesaria para cuantificar la respuesta del conjunto de la estructura, y el detalle suficiente para formular correctamente el estado límite considerado.

La simplicidad del modelo es muy importante, considerando que la precisión no requiere ser superior a la que puede obtenerse en obra.

Suelen dividirse en dos conjuntos de modelos.

Modelos de efectos, que cuantifican generalmente las sollicitaciones, u otros efectos, que en los elementos de la estructura producen las diversas combinaciones de acciones.

Modelos de respuesta, que determinan las capacidades resistentes o de deformación de los elementos y de las uniones entre elementos.

Para los estados límites de utilización los modelos de efectos suelen ser lineales. Para los estados límites últimos pueden ser lineales, no lineales o plásticos según los casos.

Los modelos matemáticos pueden completarse con **modelos experimentales** en laboratorio, especialmente cuando aquellos presentan incertidumbres que conduzcan a dimensionados dudosos para la seguridad o la economía.

2.8 Supervisión y conformidad

Las condiciones de calidad del proyecto, de los materiales y equipos utilizados en obra y de la ejecución figuran en los EC 2 a EC 8 y en las Normas vigentes. Las medidas de control para comprobar el cumplimiento de las con-

diciones de calidad también figuran en ellos.

Control interno. Se realiza por la entidad que realiza el proyecto o la obra, a iniciativa propia, o según cláusulas contractuales, a lo largo del proceso de ejecución.

Supervisión externa. Se realiza por una entidad diferente de la que lo realiza, a lo largo del proceso de ejecución. La del proyecto se realiza por un organismo de control, oficial o particular, y puede comprender el proyecto total o de la estructura u otras partes, y realizarse completo o por muestreo estadístico. La de la ejecución en España comprende la **Dirección de obra** de arquitecto o ingeniero superior, según el caso, y la **Inspección**, de aparejador o ingeniero técnico, completada con los ensayos de Laboratorio precisos.

Conformidad final. Al término del proceso, la entidad de supervisión externa, otorga la conformidad con los requisitos establecidos, basada en las decisiones de supervisión. En España se divide en Recepción provisional y Recepción definitiva, generalmente un año después.

3. EUROCODIGO N.º 2 ESTRUCTURAS DE HORMIGON

3.1. Generalidades

El Eurocódigo N.º 2, Normas generales para estructuras de hormigón define las bases para el proyecto, la ejecución, y el mantenimiento de las estruc-

7	ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS COMBINACIONES EN VALOR DE CÁLCULO
Combinaciones fundamentales :	
γ_{GD}	$G_{DK} + \gamma_{GF} G_{FK} + \gamma_Q Q_{1k} + \sum \psi_{oi} \gamma_Q Q_{ik}$
ψ_{oi}	Coeficiente de combinación de la acción i : 0,5 a 0,7
Combinaciones accidentales :	
F_{DK}	$G_{DK} + G_{FK} + \psi_1 Q_{1k} + \sum \psi_{2i} Q_{ik}$
ψ_1	Coeficiente de frecuencia de la acción 1 : 0,2 a 0,7
ψ_{2i}	Coeficiente de cuasipermanencia de la acción i : 0 a 0,6

8	ESTADOS LÍMITES DE UTILIZACIÓN COMBINACIONES EN VALOR DE CÁLCULO
Combinaciones cuasipermanentes :	
$G_{DK} + G_{FK} + \sum \psi_{2i} Q_{ik}$	$\psi_{2i} = 0$ a 0,6
Combinaciones frecuentes :	
$G_{DK} + G_{FK} + \psi_1 Q_{1k} + \sum \psi_{2i} Q_{ik}$	$\psi_1 = 0,2$ a 0,7
Combinaciones infrecuentes :	
$G_{DK} + G_{FK} + Q_{1k} + \sum \psi_{oi} Q_{ik}$	$\psi_{oi} = 0,5$ a 0,7

turas de hormigón en masa, armado o pretensado, en edificación o ingeniería, y propone normas generales de aplicación.

Se refiere a estructuras de hormigón con áridos pétreos naturales o de machaqueo de rocas, y/o áridos ligeros de las clases I y II de las recomendaciones RILEM.

El EC 2 está basado en el Código Modelo CEB-FIP CM-78. En España las Instrucciones EH 88 y EP 80 han tenido muy en cuenta el CM-78, por lo que las diferencias entre ellas y el EC 2 no son excesivas.

Se tratará fundamentalmente de lo que tenga divergencia entre unas y otro, pues lo que coincide se supone ya conocido.

3.2. Método de análisis

Análisis de una estructura es la determinación de las solicitaciones y deformaciones en todos los puntos y direcciones en que sea necesario, bajo cada una de las combinaciones de acciones que puedan ejercerse durante la vida de la estructura.

Se **idealiza** la estructura generalmente descomponiéndola en:

Elementos lineales, vigas, pilares, arcos, etc.

Elementos superficiales, placas, losas, láminas, etc.

Elementos macizos, que no se consideran salvo casos generales.

En las estructuras de hormigón armado pueden emplearse métodos de análisis

de tres tipos. En todos ellos las solicitaciones tienen que satisfacer las condiciones de equilibrio en todo elemento. Las condiciones de deformación varían según el método de análisis.

Análisis lineal. La relación momento/curvatura se admite lineal y la compatibilidad de deformaciones se ajusta a ella, aunque puede rebasarse, admitiendo una redistribución limitada.

No se consideran las causas de no linealidad: anelasticidad del hormigón, fisuración del hormigón, efectos de segundo orden, etc., pero se exige comprobación de la ductilidad, especialmente si se admite redistribución.

Puede realizarse el análisis partiendo de las secciones brutas, es decir, sin determinación previa de las armaduras.

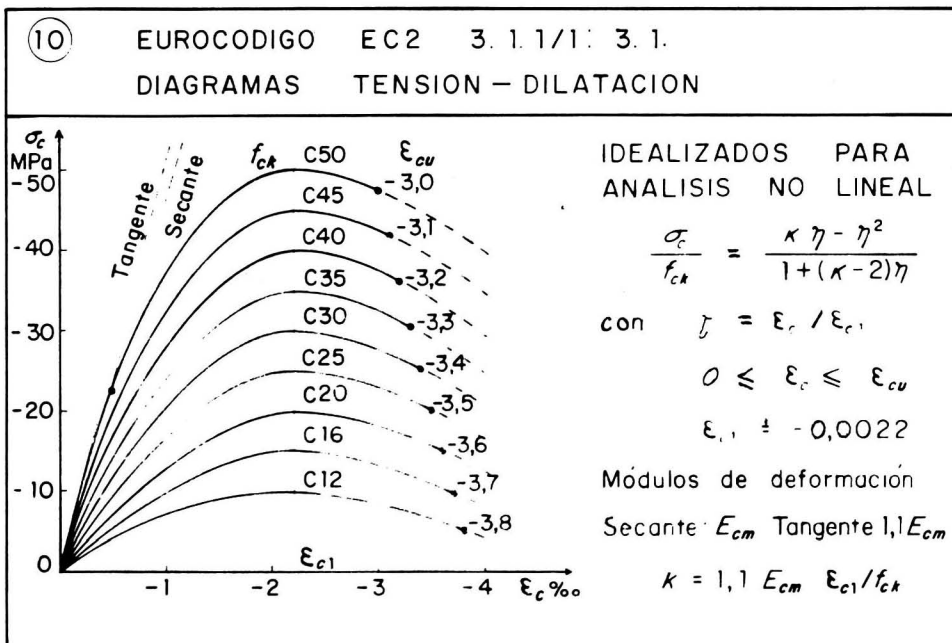
El coeficiente POISSON del hormigón, que influye en elementos superficiales, puede tomarse de valor 0,2, o por simplificación de valor 0.

Análisis no lineal. La relación momento /curvatura se establece mediante una función no lineal, basada en las leyes de deformación de materiales y elementos, mediante simplificaciones.

El análisis debe realizarse en general partiendo de las secciones con sus armaduras, o sea, es necesario efectuarlo por aproximaciones sucesivas.

Análisis plástico. Se basa en los principios fundamentales de la teoría elastoplástica de comportamiento de los cuerpos. Suele aplicarse a elementos superficiales, mediante métodos estáticos o métodos cinemáticos.

9) EUROCODIGO EC 2										
PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES en MPa										
Hormigón	f_{ck} MPa	E_c		$f_{ct,t}$		T_{Rd} MPa	$0,5 f_{cv}$		$2,5 T_{ed} f_{cv}$	
		EC 2	EH88	EC 2	EH88		EC 2	EH88		
C 12	12	26000	21000	1,2	1,13	0,18	0,28	0,45	0,56	
C 16	16	27500	24000	1,4	1,33	0,22	0,31	0,55	0,63	
C 20	20	29000	27000	1,6	1,54	0,26	0,35	0,65	0,71	
C 25	25	30500	30000	1,8	1,79	0,30	0,39	0,75	0,79	
C 30	30	32000	33000	2,0	2,02	0,34	0,43	0,85	0,87	
C 35	35	33500	35500	2,2	2,23	0,38	0,47	0,95	0,94	
C 40	40	35000	38000	2,4	2,44	0,42	0,50	1,03	1,00	
C 45	40	36000	40000	2,6	2,64	0,46	0,53	1,15	1,06	
C 50	45	37000	42500	2,8	2,83	0,50	0,56	1,25	1,10	



3.3 Hormigón

En el **hormigón ordinario** las definiciones, propiedades y métodos de ensayo son muy semejantes a las de la Instrucción EH 88.

EC 2 propone una serie normalizada de hormigones, dada por su resistencia característica a compresión a 28 días f_{ck} en MPa, que figura en el diagrama 9, en el que se dan además los valores de las siguientes propiedades:

- Módulo o coeficiente de deformación, E_c
- Resistencia característica a tracción, $f_{ct,t}$
- Resistencia a cortadura sin armadura transversal, T_{Rd} o $0,5 f_{cv}$
- Contribución del hormigón a cortadura, $2,5 T_{Rd}$ o f_{cv}

y se comparan además con los valores de EH 88.

Los diagramas tensión-dilatación idealizados, para análisis no lineal se dan en el diagrama 10 y conciden con los de EH 88 empleados en el pando.



Los de cálculo para estados límites últimos se dan en el diagrama 11. Además del de parábola-rectángulo y del rectángulo parcial, que admite la Instrucción EH 88, permite emplear uno bi-rectilíneo en la recta $-0,85 f_{cd} / E_c$.

3.4 Hormigones ligeros

Los hormigones ligeros, de peso específico seco $\rho^{rho} \leq 2,0 M_p/m^3$, confeccionados con áridos ligeros naturales o artificiales se incluyen en el EC2. No están incluidos en la Instrucción EH 88.

Su propiedad principal, como en los ordinarios, es la resistencia característica a compresión y prevé la probabilidad de empleo de hormigón LC12 a LC 50, incluso de resistencia menor o mayor en ciertos casos.

La resistencia a tracción puede obtenerse multiplicando la correspondiente del diagrama 9 por el factor

$$\eta_1 = 0,3 + 0,7 \rho / 2,4$$

El módulo secante de deformación longitudinal mediante la expresión:

$$E_c = 9,5 (\rho / 2,4)^2 (f_{ck} + 8)^{1/3}$$

Es decir, para igual resistencia característica a compresión, la resistencia a tracción y el módulo de deformación son sensiblemente menores.

Por el contrario el efecto de la retracción y de la fluencia son algo mayores.

3.5 Aceros

En **acero para armaduras** se normalizan las mismas tres clases S220, S400 y S500 de la EH 88. El S600 no figura. Pueden ser de dureza natural o estirados en frío. En España estos han desaparecido por razón de coste. Las propiedades exigibles son análogas, incluso los diagramas de tensión-dilatación.

Los diámetros preferentes son también los de la EH 88.

En **acero para pretensar** no se normalizan las clases. Se definen según el tratamiento térmico o mecánico, y su superficie lisa o corrugada. Pueden ser alambres, barras, torzales o cables, como en EP 80.

Los valores de relajación se deducirán de los documentos de homologación o ensayos fiables. Se dan en EC 2 unos valores medios que pueden tomarse si no hay otros datos.

Los tendones pueden ser **pretesos o postesos**. Los pretesos tendrán la adherencia suficiente para garantizar el anclaje y transmitir las tensiones tangenciales efecto de las acciones. Los postesos requieren inyección en las vainas para asegurar protección a la corrosión y al fuego, y transmitir tensiones.

Las condiciones generales, el cálculo de pérdidas y el de las tensiones iniciales del hormigón son muy semejantes a la EP 80.

3.6 Solicitaciones normales y tangenciales

Las solicitaciones de cálculo se obtienen con los métodos de análisis de las estructuras. Se adiciona una excentricidad por imperfección en las barras comprimidas. Todo ello muy semejante a la Instrucción EH 88.

Con **solicitaciones normales** cada sección con una determinada armadura longitudinal tiene un dominio de seguridad, según el diagrama 12, delimitado por una curva de interacción N_u, M_{yu} en las solicitaciones rectas, y una superficie de interacción N_u, M_{yu}, M_{zu} en las solici-

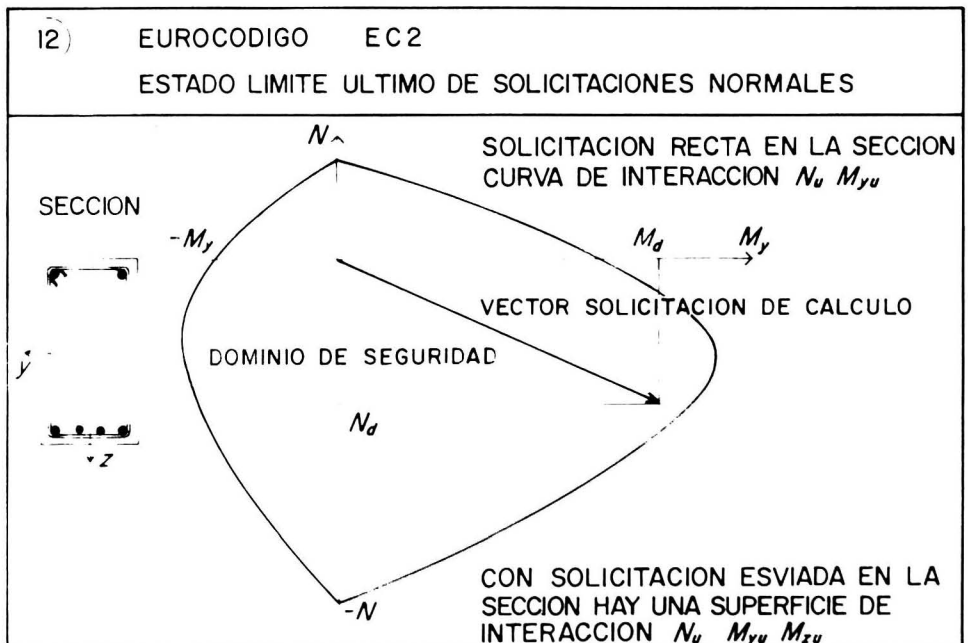
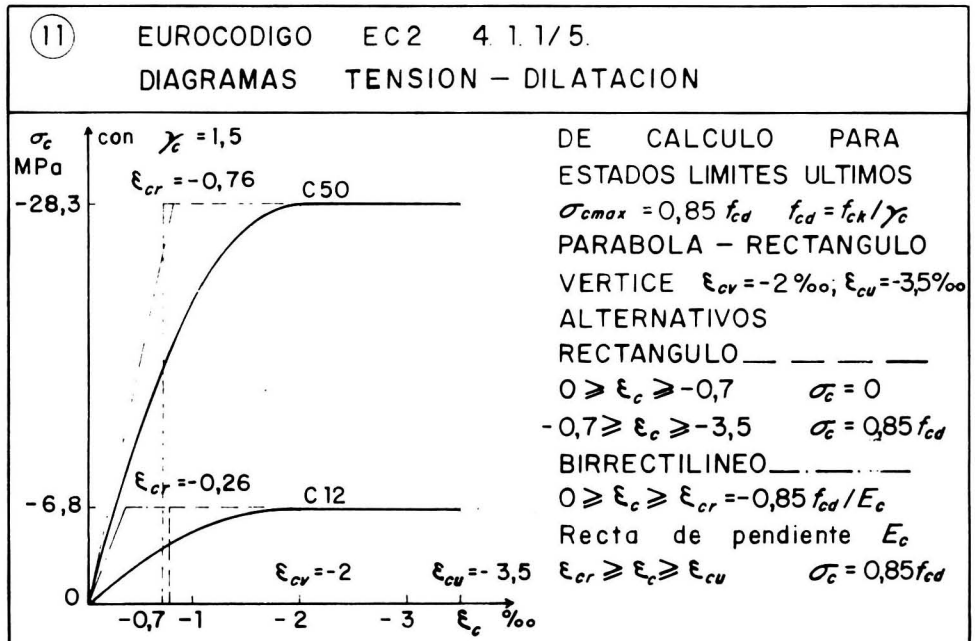
taciones esviadas. Estas se obtienen mediante los diagramas de cálculo tensión-dilatación de los materiales, por métodos que coinciden en lo esencial con los de la Instrucción EH 88.

Existe seguridad cuando los vectores de sollicitación de cálculo están en el interior del dominio de seguridad.

Con **solicitaciones tangenciales** las piezas requieren en general disponer, además de las armaduras longitudinales, de armaduras transversales: estribos rectos u oblicuos y barras dobladas, con inclinación $\text{tg} \alpha$ respecto a la directriz no inferior a 45° , salvo el caso de losas que puede ser menor.

Para el dimensionamiento se admite la analogía de la celosía. Con sollicitación de corte se comprueba primero que la tensión de compresión en las bielas de hormigón no sea superior a $0,30 f_{cd}$, con

$$\tau = (1 + 1 / \text{tg} \alpha) \not\leq 0,45 \quad (45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ)$$



Después se dimensiona la armadura transversal considerando la contribución del hormigón con el valor $2,5 \tau_{Rd}$ del diagrama 9, y la de las armaduras del mismo modo que en la Instrucción EH 88.

El **punzonamiento** de losas se calcula mediante un perímetro crítico que difiere del de EH 88 en que los bordes se redondean con circunferencias de radio $d/2$. Para el caso de carga descentrada en el pilar emplea unas fórmulas más sencillas que las de EH 88.

3.7 Pandeo

Los conceptos generales sobre el estado límite por pandeo en el EC 2 son los mismos del Código modelo CM-78 y de la Instrucción EH 88.

En un pilar, con esfuerzo normal de compresión y momentos flectores debidos a las acciones, y a excentricidades de imperfección, las deformaciones transversales y por consiguiente los momentos flectores crecen más rápidamente que el esfuerzo normal, es decir, hay sollicitación de segundo orden. El estado límite por pandeo se alcanza cuando la sollicitación, incluida la de segundo orden, alcanza el dominio de seguridad del pilar.

En una estructura plana de vigas y pilares las sollicitaciones de segundo orden que aparecen son más complejas pues influyen en ellas los desplazamientos de los nudos. El estado límite último de pandeo puede producirse por pérdida del equilibrio estático, pero generalmente cuando en una o más secciones de vigas o pilares se sobrepasa su correspondiente dominio de seguridad.

Las estructuras se clasifican por esto en:

Translacionales, en las que sus nudos, con las acciones de cálculo, presentan desplazamientos transversales importantes. El cálculo se efectúa sobre un modelo discretizado de la estructura, mediante un proceso de cálculo iterativo, con los diagramas de sollicitación-rotación de los valores de cálculo de los materiales y los efectos de la deformación en las sollicitaciones. Las imperfecciones se consideran mediante inclinaciones de valor $1/200$, o mayores en estructuras de una planta.

Sólo mediante el empleo de ordenadores de gran capacidad y programas aún no comercializados puede abordarse este cálculo.

Intranslacionales, en las que los desplazamientos de los nudos son despreciables o nulos. Entre ellas se incluyen las de n plantas que cumplan:

$$h = \sqrt{(G + Q_k) E_{cm1}} \leq 0,2 + 0,1n > 6$$

siendo:

- h altura total de la estructura.
- $G+Q_k$ suma de todas las cargas características de la estructura.
- E_{cm1} Suma de las rigideces a flexión de los elementos rigidizadores, no fisurados, en la dirección considerada.

El proyectista tenderá en general a colocar elementos rigidizadores suficientes para que la estructura sea intranslacional.

Los pilares aislados, y los de las estructuras intranslacionales se calcular como se indica en el diagrama 13.

3.8 Estados límites de utilización

Los **estados límites de fisuración** que se consideran, respecto a la posición de las armaduras longitudinales son:

- Fisuración normal por flexión.
- Fisuración oblicua por corte.
- Fisuración paralela por adherencia.

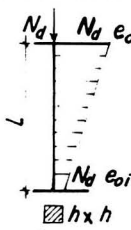
Las condiciones ambientales son, como en EH 88 y EP 80.

- Ambiente I poco agresivo
- Ambiente II medianamente agresivo
- Ambiente III muy agresivo

Las armaduras por su sensibilidad a la corrosión pueden ser:

Muy sensibles $\sigma \leq 4$ mm.

- Aceros simplemente templados
- Aceros estirados en frío con $\sigma_s > 400$ MPa
- Son casi siempre aceros pretensados

13 EUROCODIGO EC2	
ESTADO LIMITE ULTIMO DE PANDEO	
PILAR AISLADO DE UNA ESTRUCTURA. LONGITUD DE PANDEO $l_0 = \beta l$.	
	
FACTOR β CALCULADO CON LAS CONDICIONES DE EXTREMO. EN ESTRUCTURAS INTRANSLACIONALES SE PUEDE TOMAR $\beta=1$ ESBELTEZ: $\lambda = l_0 / i$ $i = h \sqrt{12}$ EXCENTRICIDAD EQUIVALENTE DE LA SOLICITACION: CON $e_{0s} \geq e_{0i}$ $e_0 = 0,6 e_{0s} + 0,4 e_{0i} \leq 0,4 e_{0s}$ EXCENTRICIDAD TOTAL DE CALCULO: $e_r = e_1 + e_2$ e_1 EXCENTRICIDAD DE 1.ORDEN e_2 EXCENTRICIDAD DE 2.ORDEN	
EC2 $e_1 = e_0 + e_a$ $e_a = l_0 / 300 \leq 2$ cm EXCENTRICIDAD ADICIONAL $25 \leq \lambda \leq 140$ LIMITES DE LA ESBELTEZ $35 \leq \lambda \leq 100$ METODO APROXIMADO PARA OBTENER e_2 $e_2 = \frac{0,0035 + f_{yd} / E_s}{10} \zeta \frac{l_0^2}{h}$; $\zeta = \frac{N_d}{h^2 f_{cd}} \leq 1$ e_2 MAYOR EN EC2 CON $\zeta > 0,9$	EH88 $e_1 = e_0 \leq e_a$ EXCENTRICIDAD ADICIONAL $e_a = h / 20 \leq 2$ cm $e_2 = \frac{10,2 + f_{yd}}{120000} \frac{h + 20 e_0}{h + 10 e_0} \frac{l_0^2}{i}$; f_{yd} en Mp/cm^2 e_2 MAYOR EN EH88 CON $\zeta < 0,9$

14 EUROCODIGO EC2				
ESTADO LIMITE DE FISURACION				
EXIGENCIAS PARA FISURACION RECTA				
AGRESIVIDAD DEL AMBIENTE	COMBINACION DE ACCIONES	SENSIBILIDAD A LA CORROSION		- NO SE CONSIDERA
		MUCHA	POCA	
I PEQUEÑA	FRECUENTE CUASIPERMANENTE	w_2	w_3	σ DESCOMPRESION $\sigma_c \leq 0$
II MEDIA	FRECUENTE CUASIPERMANENTE	w_1	w_2	f INICIACION DE FISURAS $\sigma_c \leq f_{crk}$ $w_1 = 0,1$ mm $w_2 = 0,2$ mm
III GRANDE	INFRECUENTE FRECUENTE	w_1	w_2	$w_3 = 0,4$ mm
CASOS DE FLEXION QUE NO REQUIEREN COMPROBACION. $\sigma_s \leq f_{yk} / \gamma_s$				
$w_3 = 0,4$ mm	$w_2 = 0,2$ mm	SEPARACION HORIZONTAL MAXIMA ENTRE BARRAS, EN mm, EN FLEXION, CON σ_s EN MPa		
σ_s MPa	ϕ mm	σ_s MPa	ϕ mm	FISURA
200	≤ 50	100	≤ 50	$w_1 = 0,1$ mm
240	≤ 25	120	≤ 25	$w_2 = 0,2$ mm
280	≤ 20	200	≤ 12	$w_3 = 0,4$ mm
				SIN LIMITE
				120 160 200 240 280
				75 40 125 100 60
				175 125



Poco sensibles Los demás.

Casi siempre aceros de armado.

Las exigencias de fisuración para durabilidad se dan en el diagrama 14. En él figuran también los casos en que no se necesita comprobación.

La comprobación del ancho de fisuras en hormigón armado se efectúa como en EH 88 considerando la parte de sección de hormigón afectada. En hormigón pretensado determinando las tensiones de hormigón en la sección homogeneizada.

La fisuración oblicua por corte se evita mediante disposición adecuada de la armadura transversal, reduciendo lo posible la separación de estribos. EC 2 da una Tabla para ello.

La fisuración paralela por adherencia es la más peligrosa y se evita con adecuados detalles de armaduras. La mínima cuantía de la armadura transversal:

$$c = A_{sw} / (s b_w \text{ sen } \alpha)$$

no debe ser inferior a 0,0009 con acero AEH 400 y a 0,0007 con acero AEH 500. Los estribos conviene sean de diámetro pequeño con separaciones menores de las estrictas.

Los **estados límites de deformación** que se consideran garantizan que no se producen inconvenientes en el comportamiento en servicio y que se evitan lesiones.

En el cálculo de la deformación instantánea se aplicarán las combinaciones infrecuentes, y en el de la deformación a largo plazo las combinaciones cuasipermanentes.

Puede convenir aplicar contraflechas, que se calcularán como deformaciones instantáneas de las combinaciones cuasipermanentes.

En EC 2 se indica que no es necesario comprobar flechas en losas o vigas de menos de 5 m de luz. En losas en que α / h sea inferior a 30, con $\alpha = 1$ tramo aislado, $\alpha = 0,8$ tramo continuo externo y $\alpha = 0,6$ tramo continuo interno. Y en vigas en que α / h sea inferior a 25.

Para el cálculo de las flechas se indica que se considerará el estado I, no fisurado, siempre que $\sigma_{ct} \leq f_{ctm}$ y el estado II, fisurado, cuando sea superior. Se establecen principios de cálculo de tipo general, pero no fórmulas de aplicación.

3.9 Otras reglas

Presenta EC 2 exigencias sobre **detalles de armado**, que salvo algún detalle coinciden con la de EH 88 para hormigón armado y EP 80 para pretensado, en lo referente a recubrimientos, separaciones entre barras y curvados admisibles.

Para la **adherencia** entre hormigón y armadura considera posición I de adherencia buena o posición de adherencia deficiente como en EH 88. La tensión última de adherencia y la longitud básica de adherencia en posición I, que se dan en el diagrama 15 son muy diferentes en ambos códigos.

Los **empalmes** por solapo tienen reglas semejantes, pero por lo indicado en el diagrama 15 sus longitudes también varían bastante.

En los **pilares** con hormigonado vertical en obra el lado mínimo es de 20 cm. En EH tuvo este valor hasta la EH 80 en que se amplió a 25 cm. La cuantía de la armadura longitudinal estará comprendida entre 0,008 y 0,080. Este límite se respetará incluso en las zonas de solapo. EH 88 permite 0,004, lo que parece suficiente para zonas de sismicidad baja, y un máximo de $f_{cd} / f_{y,cd}$ que para C20 y AEH 400 es 0,0045.

En **vigas** cuantía de la armadura longitudinal no será inferior a la necesaria para control de la fisuración, ni a 0,0015. La máxima de tracción, o de compresión no superará 0,040.

EH 88 exige para AEH 400 el mínimo de 0,0033 y el máximo de 0,045.

No se comentan las condiciones de ejecución.

4. EUROCODIGO N.º 5 ESTRUCTURAS DE MADERA

4.1 Generalidades

El **Eurocódigo n.º 5. Reglas unificadas comunes para las estructuras de madera**, se publicó en 1988. Como los demás tiene un Prefacio que es una repetición abreviada de EC 1 con indicaciones respecto al material.

15) EUROCODIGO EC 2									
CONDICIONES DE ADHERENCIA									
HORMIGON	TENSION ULTIMA DE ADHERENCIA f_{bd} MPa								
	BARRAS LISAS		BARRAS CORRUGADAS HASTA ϕ 32						
	EC 2	EH 88	EC 2	EH 88	$\phi 8$	$\phi 12$	$\phi 20$	$\phi 32$	
C 12	0,9	0,9	1,6	—	—	—	—	—	
C 20	1,1	1,1	2,4	6,6	6,2	5,3	4,0		
C 30	1,3	1,4	3,2	8,7	8,1	7,0	5,2		
C 40	1,5	1,6	3,9	10,5	9,8	8,4	6,3		
C 50	1,7	1,8	4,5	12,2	11,4	9,8	7,3		
LONGITUD BASICA DE ANCLAJE, EN cm, DE BARRAS CORRUGADAS DE ACERO AEH 400									
HORMIGON	EC 2 $l_b = \phi f_y d / 4 f_{bd}$				EH 88 $l_c = m \phi^2 \leq f_{yk} \phi / 200$				
	$\phi 8$	$\phi 12$	$\phi 20$	$\phi 32$	m	$\phi 8$	$\phi 12$	$\phi 20$	$\phi 32$
C 12	43	65	109	134	—	—	—	—	
C 20	29	43	72	116	14	16	24	56	143
C 30	22	33	54	87	10	16	24	40	102
C 40	18	27	45	71	8	16	24	40	66
C 50	15	23	39	62	7	16	24	40	64
— CON C12 NO SE PERMITEN EN EH 88 BARRAS CORRUGADAS									

16) EUROCODIGO EC 5	
CLASES DE HUMEDAD AMBIENTAL	
HUMEDAD DEL AMBIENTE DE LA ESTRUCTURA. PUEDE SER DIFERENTE DE LA DEL CLIMA.	
<p>A TEMPERATURA $T = 20 \pm 2^\circ C$ LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE H NO SOBREPASARA EN ALGUNAS SEMANAS: HUMEDAD MEDIA DE EQUILIBRIO ω DE LAS CONIFERAS</p>	
<p>CLASE DE HUMEDAD 1 $H \leq 65\%$ $\omega \leq 12\%$</p> <p>CLASE DE HUMEDAD 2 $H \leq 80\%$ $\omega \leq 18\%$</p> <p>CLASE DE HUMEDAD 3 H, ω MAS ELEVADAS</p>	<p>REPRESENTACION DE LAS COMBINACIONES DE TEMPERATURA T, Y HUMEDAD RELATIVA H EQUIVALENTES A LAS CLASES.</p>

Señala que se necesitarán normas CEN de referencia que sustituyan a normas ISO de madera, de tableros y de medios de unión, algunas existentes y otras en preparación.

Acepta, como es lógico, los valores de acciones, sus coeficientes de ponderación y sus coeficientes de combinación, e indica los criterios seguidos para establecer coeficientes de minoración de los materiales según las condiciones de elaboración y ejecución.

Y como en los demás Eurocódigos el grupo redactor invita a presentar propuestas de mejora sobre la claridad de la redacción y la forma de presentar tablas y gráficos. Da reglas alternativas, en forma de textos sustitutivos a los existentes, con formulaciones detalladas y justificación de su mejor adaptación a la aplicación práctica. En especial el cálculo

de estructuras de madera laminada; la consideración del corte y de la tracción normal a la fibra y la reducción de seguridad en ciertos casos.

El capítulo I presenta notaciones, definiciones y referencias, que se irán comentando cuando aparezcan en el texto.

4.2 Bases de concepción y de cálculo

Las exigencias fundamentales, los estados límites y situaciones de cálculo, y las acciones se establecen y definen de forma casi idéntica a las ya expuestas en EC 1 y EC 2.

Los coeficientes de ponderación de acciones permanentes y variables corresponden a los diagramas 4 y 5. Cuando la construcción es provisional los coeficientes se multiplican por 0,9. Se

emplean igualmente las notaciones y valores de los diagramas 6, 7 y 8.

En las estructuras de madera el comportamiento depende de la humedad ambiental, y se establecen tres clases de humedad para atribuir los valores de resistencia y de deformación en función de la clase. Estas clases se definen en el diagrama 16.

Cada propiedad de un material se define por un **valor característico** x_k que corresponde a un fractil en la distribución de la propiedad especificada en las correspondientes normas y ensayada en condiciones definidas. Puede haber dos valores característicos, inferior y superior. Si no se indica nada es el inferior el que se considera.

El **valor de cálculo** x_d de la propiedad es:

$$x_d = K_{mod} x_k / \gamma_m$$

como se detalla en el diagrama 17.

4.3 Materiales

Considera EC 5 las maderas, las maderas entestadas, las maderas laminadas, los tableros contrachapados, otros tableros, colas, y medios metálicos de unión.

Las **maderas** se clasifican según su resistencia, mediante reglas que aseguren que sus propiedades de resistencia y rigidez son fiables.

Los métodos de clasificación se basan en una estimación visual de la madera y/o por medida no destructiva de una o más propiedades. La resistencia y la rigidez se determinarán si es posible por ensayos instantáneos según la Norma ISO 8375.

El material ensayado será una muestra representativa de la partida, y las probetas de ensayo cortadas de este material incluirán un defecto de reducción determinante para la clasificación. Este defecto en los ensayos de flexión estará en la longitud de momento constante.

En el Apéndice 2 de EC 5 se clasifican las maderas utilizables en estructuras, en 10 clases por resistencia, y en 5 clases por densidad, como se indica en el diagrama 18.

La **madera laminada** se produce en taller, con tablas de espesor uniforme de 2,5 cm a 4,5 cm, encoladas bajo presión. Para las tablas externas, en una altura de un sexto de canto y no menos de 2, se emplea madera C2, C4 ó C6. Para las internas C1 ó C2, ó la misma de las externas. Todas ellas con humedad de Clase 1. Las colas utilizables se indican más adelante. Se emplea presión de 0,5 a 1,0 MPa y se polimerizan las colas en locales con temperatura no inferior a 15° y humedad relativa no inferior al 30%. Las

17) EUROCODIGO EC 5								
RESISTENCIA DE CALCULO Y FLUENCIA DE LOS MATERIALES								
ESTADOS LIMITES ULTIMOS: $f_d = k_m f_k / \gamma_m$								
ESTRUCTURAS, ELEMENTOS Y CONTROL DE CALIDAD			COMBINACIONES DE ACCIONES			COEFICIENTE DE MINORACION γ_m		
DE MADERA ORDINARIA CONTROL INTERNO			FUNDAMENTALES ACCIDENTALES			1,4 1,1		
DE MADERA LAMINADA FABRICADAS EN TALLER DE MADERA CLASIFICADA MECANICA CONTROL EXTERNO IMPARCIAL			FUNDAMENTALES ACCIDENTALES			1,25 1,0		
ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION 1,0								
HUMEDAD DEL AMBIENTE	FACTOR DE MODIFICACION k_m CON PLAZO DE CARGA				COEFICIENTE DE FLUENCIA k_{cr}			
	LARGO 10 AÑOS	MEDIO 6 MESES	CORTO 1 SEMANA	INSTANTANEO	LARGO 10 AÑOS	MEDIO 6 MESES	CORTO 1 SEMANA	INSTANTANEO
CLASE 1	0,80	0,90	1,0	1,2	1,5	1,2	1,0	1,0
CLASE 2	0,80	0,90	1,0	1,2	1,8	1,3	1,1	1,0
CLASE 3	0,65	0,72	0,80	1,0	3,0	2,0	1,5	1,0

18) EUROCODIGO EC 5											
CLASES DE MADERA DEFINICION POR PROPIEDADES											
PROPIEDAD. VALORES CARACTERISTICOS DE f Y MEDIOS DE E	CLASE POR RESISTENCIA. f_{mk} PARA CANTO $h=20\text{cm}$. PARA $b > h = 20\text{cm}$. $h \neq 20$ $k_n f$ $k_n = (h/20)^{0,2}$	SE INCLUYE EN CLASE C X SI:									
FLEXION f_{mk} MPa	C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9 C10	CX CX CX(+1)									
TRACCION 0° $f_{t0,k}$ MPa	7 9 11 13 15 17 24 30 38 48	CX CX CX									
COMPRESION 0° $f_{c0,k}$ MPa	13 15 17 19 22 26 30 38 48 60	CX CX(+1) CX(+1)									
CORTE f_{vk} MPa	1,7 1,9 2,0 2,1 2,3 2,7 3,8 4,8 6,0 6,0	— — —									
MODULO ELAST. 0° E_{0m} MPa/1000	7 8 9 10 11 12 14 17 22 27	CX CX(+1) CX(+1)									
PARA CALCULOS DE INESTABILIDAD E_{0k}/f_{c0k}	370 370 370 370 370 340 320 320 320 320	PANDEO Y COMBADURA									
MODULO CORTE $G_m = E_{0m}/16$	MODULO ELAST. 90° E_{90m} : CONIFERAS = $E_{0m}/30$. FRONDOSAS = $E_{0m}/15$										
PROPIEDAD. VALORES CARACTERISTICOS DE γ Y DE f	POR DENSIDAD $f_{90,k}$ PARA $V=0,02\text{m}^3$ $V > 0,02\text{m}^3$ $k_v f_{90,k}$ $k_v = (0,02/V)^{0,2}$	COMPRESION α°									
DENSIDAD γ kg/m ³	D300 D400 D500 D600 D800	$f_{c\alpha,k} = f_{c0k} - (f_{c0k} - f_{c90,k}) \text{sen } \alpha$									
TRACCION 90° $f_{t90,k}$ MPa	0,3 0,4 0,5 0,6 0,8	CONIFERAS, PINO, ABETO EMPLEADAS EN ESPAÑA, SE CLASIFICAN EN GENERAL: C3. D400									
COMPRESION 90° $f_{c90,k}$ MPa	6 7 8 11 13										



resistencias de las maderas laminadas son algo superiores a las de las maderas empleadas, excepto la resistencia al coeficiente f_{vk} que es la misma de la madera empleada que la tenga menor.

Los **tableros contrachapados** están constituidos por chapas de madera de espesor 1 a 5 mm obtenidas por desarrollo en bandas de gran longitud. Un número impar de chapas: 3, 5 ó 7. Las impares con fibra longitudinal, las pares con fibra transversal. Se encolan con las colas indicadas luego. Se fabrican según normas aceptadas internacionalmente.

Otros **tableros**, de partículas o de fibras, fabricados según normas aceptadas internacionalmente.

Las **colas** para uso estructural realizarán juntas con resistencia no inferior a la de la madera, y durabilidad tal que la unión se conserve íntegra durante la vida de la estructura. Pueden ser para:

Alto riesgo. Exposición directa a la intemperie. Ambiente cálido, que puede exceder los 50° y con humedad relativa que puede exceder del 18%. Colas empleadas: Resorcinol-formaldehído. Fenol-formaldehído.

Bajo riesgo. Estructuras exteriores protegidas del sol y la lluvia. Interiores en ambientes ordinarios. Colas empleadas: las anteriores. Urea-formaldehído.

Medios de unión metálicos: pernos, puntas, llaves, tornillos, chapas erizadas, etc. según normas de aceptación internacional.

4.4 Cálculo de piezas

Se aplican estas reglas a piezas de sección rectangular o circular de madera, o de madera laminada. Las reglas que corresponden a solicitaciones normales: tracción, compresión y flexión se reflejan en el diagrama 19, en el que las resistencias de cálculo se obtienen según el diagrama 17 aplicando las resistencias características del diagrama 18.

Para las solicitaciones tangenciales se emplean:

Corte

$$\tau_d \leq f_{vd}$$

La tensión τ_d se obtiene con el esfuerzo cortante máximo a la distancia 2h del borde del apoyo de la pieza.

Si la pieza reduce en sección junto al extremo prescribe un factor de reducción.

Para las piezas de madera laminada el cálculo se complica con tres factores: de volumen, de distribución y de relación luz / canto.

Torsión

$$\tau_{td} \leq 1,2 f_{vd}$$

Considera además las tensiones oblicuas de tracción o de compresión que se producen en las piezas de sección variable.

4.5 Flexopandeo

Una pieza de madera de longitud l y sección $h \cdot b$, cuyo radio de giro mínimo es $i_{\min} = b \sqrt{12}$, tiene un esbeltez

$$\lambda = l_c / i_{\min} \quad \text{con } l_c = \beta$$

siendo $\beta = 1$ en pieza articulada en ambos extremos, y $\beta = 2$ en pieza libre en un extremo y empotrada en el otro.

Se considera una imperfección de forma senoidal, con excentricidad máxima

$$e = \eta l_c$$

siendo $\eta = 0,006$ en madera natural y $\eta = 0,004$ para la madera laminada.

Las condiciones de estado límite se dan en el diagrama 20.

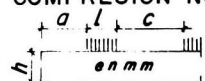
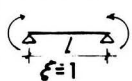
4.6 Vigas de canto variable y vigas curvas

Con madera laminada puede tener ventajas hacer vigas de canto variable o curvas.

En las vigas de canto variable, hay que tener en cuenta la interacción de f_{md} , f_{vd} y f_{190d} si la inclinación está en la fibra de tracción, o la de f_{md} , f_{rd} , f_{c90d} si está en la de compresión.

En una viga de decrecimiento doble, el área de anchura igual al canto h_{ap} en el vértice servirá para calcular k_v .

En las vigas con extrados e intrados en parte curvo, el área comprendida entre éstos servirá para calcular k_v .

19)	EUROCODIGO EC5
CALCULO DE PIEZAS CON SOLICITACIONES NORMALES	
LAS RESISTENCIAS CARACTERISTICAS f_k Y LOS FACTORES k_n Y k_v EN (18)	
LAS RESISTENCIAS DE CALCULO $f_d = k_m f_k / \gamma_m$ EN (17)	
TRACCION PARALELA A FIBRA	$\sigma_d \leq k_n f_{t0,d}$
TRACCION NORMAL A FIBRA	$\sigma_d \leq k_n k_d f_{t90,d}$
POR DISTRIBUCION DE TENSIONES $k_d = \sigma_{max} / (\int_v \sigma^2 dv / V)^{1/2}$ UNIFORME $k_d = 1$. LINEAL $k_d = 1,43$	
COMPRESION PARALELA A FIBRA, SIN PANDEO	$ \sigma_d \leq f_{c0,d}$
COMPRESION NORMAL A FIBRA	$ \sigma_d \leq k_c f_{c90,d}$
 $k_c = 1 + (r-1)s \quad r = \sqrt{150/c} \leq 1 \leq 1,8 \quad s = a/100 \leq 1$	
DEFORMACION $a = k_a \sigma h / E_{90m} \quad k_a = t/1+24 \quad t = 1+2(1-a/k)^2 \leq 1$	
FLEXION.	k_i FACTOR POR COMBADURA $ \sigma_d \leq k_i f_{md}$
$\lambda_m \leq 1,4$	$k_i = 1,56 - 0,75 \lambda_m \leq 1 \quad \lambda_m = \sqrt{f_{mk} / \sigma_{crit}} \quad \lambda_m = \sqrt{\frac{A f_{mk} h l_e}{E_{ok} n b^2}} \quad \text{LUZ EFECTIVA } L_e = \xi l$
$\lambda_m > 1,4$	$k_i = 1 / \lambda_m^2$ EN SECCION RECTANGULAR
 $\beta = 1,35 - 1,4 a(1-a)$	
CARGA ARRIBA: $\xi = 0,95$. ABAJO: $\xi = 0,85$ CARGA ARRIBA: $\xi = 0,84$. ABAJO: $0,71/\beta$	

20)	EUROCODIGO EC5
FLEXION COMPUESTA, PANDEO, FLEXOPANDEO	
COMPRESION Y FLEXION SIN PANDEO	$\left \frac{\sigma_{cd}}{f_{cod}} \right + \left \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \right \leq 1$
ESBELTEZ DE PANDEO: $\lambda = l_c / i_{\min}$ CURVATURA INICIAL. $e = \eta i_{\min} \lambda$	
MADERA NATURAL: $\eta = 0,006$ LAMINADA $\eta = 0,004$. $\xi = 1 + 20 \eta$	
FACTOR: $k_e = \frac{1}{\lambda^2} = \frac{\pi E_{ok}}{f_{cok} \lambda^2}$ ESBELTEZ RELATIVA $\bar{\lambda}$	
FACTOR DE PANDEO	
$k_c = 0,5 \xi \left[1 + (1 + \eta \xi \frac{f_{cok}}{f_{mk}} \lambda) \frac{k_e}{\xi} - \sqrt{(1 + (1 - \eta \xi \frac{f_{cok}}{f_{mk}} \lambda) \frac{k_e}{\xi} - 4 \frac{k_e}{\xi}} \right]$	
PANDEO	$\left \frac{\sigma_{cd}}{k_c f_{cod}} \right \leq 1$
FLEXOPANDEO	$\left \frac{\sigma_{cd}}{k_c f_{cod}} \right + \left \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} \right / \left(1 - \frac{k_e \sigma_{cd}'}{k_e f_{cod}} \right) \leq 1$

Cuando la relación $r/t < 240$, siendo r el radio interior y t el espesor de la tabla encolada hay que tener en cuenta la reducción de tensiones características debida al curvado.

Cuando la curvatura $r/h < 15$, siendo r el radio interior y h el canto de la pieza, la influencia de la curvatura sobre la distribución de tensiones en la sección se tendrá en cuenta.

Cuando el momento tiende a reducir la curvatura hay que calcular y limitar la tracción perpendicular a fibra.

Cuando el intradós es curvo, y el extradós de decrecimiento doble, se tendrán en cuenta ambos fenómenos.

4.7 Elementos compuestos

Vigas compuestas de alas macizas de madera natural o laminada, encoladas a una o dos almas finas de tablero. Se admite variación lineal de las deformaciones y tensiones normales proporcionadas a sus módulos de elasticidad y se comprobará que en alas y almas no se sobrepasan las tensiones de cálculo.

Se comprobará que no se produce alabeo del alma por tensiones normales y tangenciales.

Se comprobará que las uniones de ala y alma pueden resistir las tensiones tangenciales que se producen.

Placas compuestas de alas de tablero encoladas a almas de escuadrías a distancias uniformes. Se considerará una distribución no uniforme de las tensiones en las alas, y el efecto de abolladura en el ala comprimida.

Si $b_w < 8 h_f$, siendo b_w el ancho del alma y h_f el espesor del tablero, las tensiones tangenciales pueden admitirse uniformemente repartidas en el área de la unión encolada ala-alma.

Pilares compuestos, de celosía o encolados en doble T o en cajón. En el pandeo de los de celosía se considerará la deformación por flexión y la debida al esfuerzo cortante en las piezas y las uniones.

En las uniones por puntas o pernos se considerarán su correspondientes módulos de deslizamiento.

Elementos contraviento. Se disponen para evitar el pandeo de las piezas comprimidas o la combadura de las piezas flectadas, y la ruina del conjunto a solicitaciones horizontales, como el viento.

4.8 Uniones

En el EC 5 se consideran las uniones por encolado o por medios metálicos: puntas, pernos con o sin llaves, tornillos de madera, etc. No se mencionan ensamblajes.

Se establece que la resistencia característica y la deformación característica de una unión se determinarán mediante ensayos, realizados según la norma ISO 6891. Se tendrá en cuenta la influencia del secado después de la ejecución y la de las variaciones de humedad en servicio.

Pueden tomarse los valores del factor k_m del diagrama 17 a menos que se determinen con ensayos.

La resistencia de una unión con medios múltiples es frecuentemente menor que la suma de las resistencias de cada medio. Con solicitaciones alternadas de tracción y compresión se produce generalmente una reducción de resistencia.

Cuando la unión tenga medios de más de un tipo, se tendrá en cuenta la diferencia de sus rigideces.

La configuración de las uniones de las piezas de madera y las dimensiones de los medios de unión, separaciones entre estos, y distancias a los bordes, se determinarán de modo que puedan desarrollar sus resistencias.

Cuando el esfuerzo en la unión forme un ángulo con la fibra, se considerará la tracción normal a ésta que se produzca.

Además de estos principios se dan en EC 5 reglas de dimensionado y de separaciones para los puntos que trabajan a corte en las uniones de madera con madera, de madera con chapa de acero, y de madera con paneles.

5. EUROCODIGO N.º 6 ESTRUCTURAS DE FABRICA

5.1 Generalidades

El Eurocódigo n.º 6 Reglas unificadas comunes para las estructuras de fábrica se publicó en 1988. También tiene un Prefacio que es una repetición abreviada de EC 1, con indicaciones relativas a los materiales, en el que se indica que el objeto de la publicación es solicitar observaciones de los países miembros sobre su contenido y presentación para preparar una versión revisada.

Las acciones características, los coeficientes parciales para obtener las acciones de cálculo y sus valores de combinación son por ello los mismos que en los demás Eurocódigos.

No existen en la actualidad Normas CEN, ni apenas Normas ISO, referentes a fábricas y sus materiales, por lo que se han utilizado Normas de algunos países miembros. En España rigen la Norma MV 201-1972 Muros resistentes de fábrica de ladrillo, y el Pliego RL-88 para la recepción de ladrillos cerámicos.

La tradición en el empleo de las fábricas, agregación de piezas, ladrillos o bloques, enlazadas con mortero, varía de unos países europeos a otros. Por ejemplo en el tamaño normalizado de los ladrillos y de los bloques. El EC 6 intenta que las reglas generales puedan ser aplicadas a todos ellos.

También varía el concepto de resistencia característica y su método de ensayo, como se verá más adelante.

En lo que se refiere a las bases de proyecto, la Euronorma EC 6 estipula que una estructura se proyectará y se construirá de tal modo que se mantenga apta para su empleo con probabilidad aceptable, y este principio lo desarrolla, como en los demás, considerando los estados límites últimos, los de utilización y la situación.

5.2 Piezas de fábrica

Las piezas de fábrica pueden ser de:

Cerámica. Fabricadas por cocción a alta temperatura de arcilla o tierra arcillosa, a veces con adiciones.

De hormigón ordinario. Fabricadas con áridos, cemento y otros materiales, en forma rígida por presión y / o vibración.

De hormigón ligero con áridos ligeros: escoria expandida, arcilla expandida, pomez, etc.

De mortero celular. Fabricadas con árido silíceo fino, cemento, cal y agente aireante, curado en autoclave.

Silicocalcáreas. Fabricadas con mezcla de árido silíceo, cal y otros materiales, por presión y curado en autoclave.

De piedra natural Labrada de bloques en debidas dimensiones.

El EC 6 distingue los tipos de piezas que se indican en el diagrama 21.

Las propiedades exigidas son:

Resistencia media a compresión de las piezas f_b . Se mide en un ensayo, aun en propuesta, realizado sobre piezas enteras. Se aplica la carga sobre las caras en que se aplique en obra, alisadas por amolado o por preparación con mortero. Las piezas se mantienen 24 horas en agua.

El resultado medio del ensayo, sobre el área bruta, f_m , se convierte en f_b como se indica en el diagrama 22. No se permite $f_b < 2,5 \text{ MPa}$

Cuando se requiera se especificarán y se obtendrán además

Absorción
Succión
Heladicidad



5.3 Morteros

Se clasifican según su composición, o sea la proporción de conglomerantes, arena y otros constituyentes, y sus propiedades mecánicas.

Conglomerantes: cal hidratada, cal hidráulica, cemento mixto, o cemento portland. Cumplirán la norma del país.

Aridos. Puede ser arena u otro material, con un contenido de sustancias perjudiciales inferior al exigido en la norma del país.

Agua. Igualmente según la norma del país.

Aditivos. Pueden ser

- Plastificantes
- Plastificantes e hidrófilos
- Adherentes
- Impermeabilizantes
- Retardadores del fraguado

Las propiedades del mortero endurecido no se afectarán sensiblemente. Se requiere supervisión en su empleo.

Adiciones. Cenizas volantes u otras materias que no afecten sensiblemente a las propiedades.

Los tipos de mortero se indican en el diagrama 23.

Los valores del diagrama 23 convendrá confirmarlos mediante ensayos cuando la arena no es conocida. Los ensayos se efectuarán sobre probetas, prismáticas de 160 x 40 x 40 mm, o cubos de 70,7 mm. Con las primeras se obtiene además la resistencia a flexotracción.

Si se emplean aditivos o adiciones se requiere realizar ensayos comparativos con morteros sin ellos.

La adherencia entre el mortero y las piezas será adecuada para su uso. En ciertos casos convendrá determinarla mediante ensayo.

5.4 Resistencia a compresión de las fábricas

Las propiedades mecánicas intrínsecas de una fábrica son esencialmente

La resistencia a compresión, f

La resistencia al corte, f_v

La resistencia a flexotracción, f_x

La relación tensión dilatación, $\sigma - \epsilon$

La resistencia característica a compresión f_k de una fábrica, sin excentricidad ni esbeltez, corresponde al cuantil 0,05 de los resultados de los ensayos.

Puede determinarse experimentalmente con ensayos, o empíricamente, en función de la resistencia de las piezas y del mortero.

Los ensayos se realizarán según una

<p>21 EUROCODIGO EC6 TIPOS DE PIEZAS DE FABRICA</p>		
DESIGNACION DE LA PIEZA		CONDICIONES
ESPAÑOL	INGLES	
MACIZA	SOLID	SIN PERFORACIONES. SIN O CON REBAJOS EN TABLA QUE SE RELLENAN DE MORTERO EN LA EJECUCION
SEMIMACIZA	EQUIVALENT SOLID	≤ 25% DE PERFORACIONES EN TABLA.
PERFORADA	PERFORATED	> 25% ≤ 50% DE PERFORACIONES EN TABLA. AREA MAXIMA DE UNA PERFORACION : 50 cm ²
HUECA	HOLLOW	> 25% ≤ 50% DE PERFORACIONES EN TABLA, DE CUALQUIER AREA
CELULAR	CELLULAR	> 25% ≤ 50% DE PERFORACIONES EN TABLA, DE CUALQUIER AREA, QUE NO ATRAVIESAN
TRAVESADA	HORIZONTALLY PERFORATED	≤ 50% DE PERFORACIONES EN CANTO O EN TESTA

<p>22 EUROCODIGO EC6 RESISTENCIA DE LAS PIEZAS DE FABRICA</p>					
RESISTENCIA MEDIA $f_b = \delta f_c$, SIENDO:					
f_c EL VALOR MEDIO EN EL ENSAYO, Y δ EL FACTOR DE FORMA DE LA PIEZA					
ALTURA	FACTOR δ	SIENDO LA ANCHURA MINIMA, EN mm			
mm		100	150	200	240
65	0,70	0,62	0,56	0,54	
100	0,82	0,70	0,66	0,62	
150	1,13	0,95	0,85	0,80	
200	1,43	1,17	1,00	0,92	
240	1,50	1,28	1,12	1,03	

<p>23 EUROCODIGO EC6 TIPOS DE MORTERO</p>				
TIPO DE MORTERO	RESISTENCIA A COMPRESION	COMPOSICION APROXIMADA EN PARTES EN VOLUMEN		
	A 28 DIAS MPa	CEMENTO	CAL HIDRATADA	ARENA
M20	20	SE CONFIRMARA CON ENSAYOS		
M15	15	1	0 - 0,25	3
M10	10	1	0,25 - 0,5	4 - 4,5
M5	5	1	0,5 - 1,25	5 - 6
M2	2,5	1	1,25 - 2,5	8 - 9

norma en fase de propuesta. Con probetas prismáticas pequeñas, cuyas dimensiones son: anchura t : un tizón; longitud l : dos sogas, aparejadas cortando piezas; altura h tal que $3 \leq h/t \leq 15$; $h/l \geq 1$; $h \geq 5$ hiladas. O con probetas de altura de piso: longitud l : 1,2 m a 1,8 m; altura h : 2,4 m a 2,7 m; Área de la sección $A \geq 1,25 \text{ m}^2$.

El método empírico utiliza la fórmula del diagrama 24.

La resistencia de cálculo es $f_d = \gamma_m f_k$. Los valores de γ_m se dan en el diagrama 25. En la Norma española MV 201-1972 se toma $\gamma = 2,5$. Compárense los valores de f_d que se derivan de 24 y 25 con los de las Tablas 5.1 a 5.3 de la Norma española.

5.5 Resistencia a corte y a flexotracción

La resistencia característica a corte

f_{vk} de una fábrica sometida a compresión, corresponde al cuantil 0,05 de los resultados de los ensayos. El método de ensayo no figura en EC 6.

Los valores que se adoptan en el cálculo pueden tomarse del diagrama 26.

La resistencia característica a flexotracción f_{xk} de una fábrica corresponde al cuantil 0,05 de los resultados de los ensayos.

En fase de propuesta presenta la EC 6 dos ensayos de flexión: en plano paralelo a los tendeles, y perpendicular a éstos.

Si no se realizan ensayos la resistencia característica a flexión puede tomarse del diagrama 27.

La resistencia de cálculo en todo caso es igual a la característica dividida por el coeficiente de minoración γ_m dado en el diagrama 25

5.6 Propiedades de deformación

A falta de mejor información, el módulo de elasticidad secante instantáneo E bajo las tensiones de servicio para puede tomarse de valor:

$$E = 1000 f_k$$

siendo f_k la resistencia característica a compresión de la fábrica.

El módulo de elasticidad transversal puede tomarse de valor:

$$G = 0,4 E$$

lo que corresponde a un coeficiente de POISSON $\nu = 0,25$.

El diagrama tensión dilatación de la fábrica tiene una forma semejante a la del correspondiente del hormigón según el diagrama 10.

Para el cálculo en estado límites últimos puede simplificarse, tomando el diagrama de cálculo parábola-rectángulo o el rectangular, como en el hormigón, según el diagrama 11.

Los valores de fluencia, retracción y dilatación térmica de las fábricas se proponen en el diagrama 28.

5.7 Proyecto con fábricas

Los edificios construidos con muros de fábrica tienen en general una estructura compuesta de forjados horizontales y de muros en dos o más planos verticales, y todos sus elementos colaboran para resistir las acciones aplicadas.

Debe indicarse que el comportamiento real de estas estructuras no se conoce suficientemente, y por ello se simplifica, considerando separadamente los elementos de cada plano:

- Muros que resisten cargas verticales
- Muros que además resisten cargas horizontales
- Forjados y vigas

La disposición y dimensionado de muros y forjados, y la unión entre sus varios elementos, debe conseguir apropiada estabilidad y resistencia. El cálculo se efectuará con un modelo de comportamiento lo más preciso posible, y se harán las comprobaciones en estados límites últimos.

En situaciones accidentales la estructura tendrá una razonable probabilidad de no colapsar catastróficamente, aunque quede dañada.

En los estados límites de utilización se comprobará que las grietas y las deformaciones no rebasan los límites admisibles.

Se indicarán en el proyecto los apuntalamientos que sean necesarios para asegurar la estabilidad de la estructura durante la ejecución.

(24) EUROCODIGO EC 6 RESISTENCIA A COMPRESION DE UNA FABRICA						
RESISTENCIA CARACTERISTICA A COMPRESION						
$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$ <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> f_b RESISTENCIA MEDIA DE LAS PIEZAS f_m RESISTENCIA MEDIA DEL MORTERO </div>						
SE PROPONE PARA LOS COEFICIENTES LOS VALORES: $\alpha = 0,75$; $\beta = 0,25$						
$K = 0,4 \psi$; $f_b \leq 15 \text{ MPa}$ $\psi = (15/f_b)^{0,33} \geq 1,5$; $f_b > 15 \text{ MPa}$ $\psi = 1$						
f_m MPa	f_{ck} EN MPa, SIENDO f_b EN MPa					
	2,5	5	10	15	20	30
2,5	1,50	—	—	—	—	—
5	1,79	2,87	—	—	—	—
10	2,13	3,42	4,58	—	—	—
15	2,35	3,78	5,07	6,00	—	—
20	2,53	4,07	5,45	6,45	8,00	10,84
EN EL FACTOR K CONVENDRIA INCLUIR LA CALIDAD DE LOS TENDELES						

(25) EUROCODIGO EC 6 COEFICIENTE DE MINORACION PARA FABRICAS			
COMBINACIONES DE ACCIONES	γ_m	CON NIVEL DE CONTROL DE EJECUCION	
		A	B
FUNDAMENTALES	2	2,5	3,5
ACCIDENTALES	1,2	1,5	1,8
A. INSPECCION POR TECNICO DE PRESENCIA PERMANENTE ENSAYOS DE FABRICA PREVIOS. PIEZAS DE CONTROL I MORTERO MEZCLADO MECANICAMENTE CON ENSAYOS FRECUENTES			
B. INSPECCION PERIODICA. PIEZAS DE CONTROL II ó I MORTERO CON ENSAYOS			
C. INSPECCION NO FRECUENTE, O SOLO DEL CONSTRUCTOR PIEZAS DE CONTROL II			

5.8 Muros con cargas verticales

Sobre un elemento de muro se aplican las cargas con las excentricidades debidas a la disposición de los muros, a la interacción de los forjados y a la de los muros rigidizados.

Se considerarán en el cálculo:

Las secciones planas permanecen planas

La resistencia a tracción de la fábrica es nula

La conveniente relación tensión dilatación

Los efectos a largo plazo de la carga

Los efectos de segundo orden

Las desviaciones de construcción y diferencias entre propiedades de materiales

Los supuestos anteriores se tienen en cuenta mediante un factor de reducción basado en las excentricidades estructurales y la altura efectiva del muro.

La altura efectiva del muro h_e se da en el diagrama 29.

Cuando el muro tiene huecos de altura $\geq 0,25 h$ o anchura $\geq 0,25 l$, o área $> 0,1 hl$, las partes de muro sin hueco y un muro rigidizador se considerarán arriostradas en los forjados y su borde vertical.

El espesor efectivo t_e del muro es en general $t_e = t$. Cuando el muro esté debilitado por rebajos o rozas verticales puede tomarse el espesor reducido por el efectivo, o considerar un borde libre en la posición del rebajo o roza.

Esbeltz de un muro es la relación entre la altura efectiva y el espesor efectivo. No será superior a 25.

La **excentricidad** de la carga transmitida por los forjados a los muros puede calcularse considerando un pórtico elástico formado por ellos sin considerar fisuración. El valor obtenido, debido a la menor rigidez de los enlaces puede reducirse en 1/3.

Como simplificación, cuando la sobrecarga no exceda 5 kN/m^2 puede tomarse en un tramo extremo de luz l : $e_f = 0,05 l$ y entre dos tramos de luces $l_1 \leq l_2$, $e_f = 0,05 (l_1 - l_2)$.

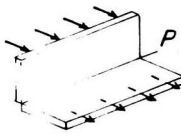
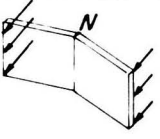
Se considerará además una excentricidad accidental en todo punto del muro, que según el control de ejecución será:

	Control A	Control B	Control C
$e_a =$	$h_e/600$	$h_e/450$	$h_e/300$

El cálculo del muro se realiza mediante

$$N_d \leq R_d$$

(26) EUROCODIGO EC 6 RESISTENCIA A CORTE DE UNA FABRICA			
RESISTENCIA CARACTERISTICA A CORTE f_{vk} , CON FABRICA COMPRI- MIDA A LA TENSION σ_d , SIENDO f_b LA RESISTENCIA DE LAS PIEZAS $f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \sigma_d \geq f_{vkm}$			
PIEZAS	MORTERO	f_{vko} MPa	LIMITE f_{vkm} $\leq 0,05 f_b$
DE HORMIGON, PERFORADAS CELULARES O HUECAS	M20 - M10 M5 - M2	0,2 0,1	$\leq 0,8$
SILICOCALCAREAS	M20 - M10 M5 - M2	0,2 0,1	$\leq 0,8$
CERAMICA CON $f_b \leq 15 \text{ MPa}$	M20 - M10 M5 - M2	0,3 0,1	$\leq 1,0$
CERAMICA CON $f_b > 15 \text{ MPa}$	M20 - M10 M5 - M2	0,3 0,1	$\leq 1,5$

(27) EUROCODIGO EC 6 RESISTENCIA CARACTERISTICA A FLEXOTRACCION						
P PLANO DE ROTURA PARALELO A LOS TENDELES				N PLANO DE ROTURA NORMAL A LOS TENDELES		
RESISTENCIA CARACTERISTICA A FLEXOTRACCION f_{tk} EN MPa						
PLANO DE ROTURA	P			N		
TIPO DE MORTERO	M20-M15	M10-M5	M2	M20-M15	M10-M5	M-2
PIEZAS ABSORCION < %	0,7	0,5	0,4	2,0	1,5	1,2
CERA - 7 a 12 %	0,5	0,4	0,35	1,5	1,1	1,0
MICAS > 12 %	0,4	0,3	0,25	1,1	0,9	0,8
SILICOCALCAREAS	0,3		0,2	0,9		0,6
DE HORMIGON $f_b \geq 3,5 \text{ MPa}$ MURO DE ESPESOR $\leq 100 \text{ mm}$ $\geq 250 \text{ mm}$	0,25 0,15		0,2 0,1	0,45 0,25		0,4 0,2
PUEDE INTERPOLARSE						

(28) EUROCODIGO EC 6 FLUENCIA, RETRACCION Y DILATACION TERMICA			
TIPO DE PIEZA	COEFICIENTE FINAL DE FLUENCIA $\phi_{\infty} = \frac{\epsilon_{c\infty}}{\epsilon_{e1}}$	RETRACCION FINAL $\epsilon_{h\infty}$ mm/m	DILATACION TERMICA α_t $10^{-6}/^\circ\text{K}$
CERAMICA	0,7	-0,1 a +0,2	6
SILICOCALCAREA	1,5	-0,2	8
HORMIGON CELULAR	2,0	-0,2	8
HORMIGON	1,5	-0,2	10
HORMIGON LIGERO	2,5	-0,3	10

29) EUROCODIGO EC6 ALTURA EFECTIVA DE UN MURO											
MURO DE ALTURA h LIBRE ENTRE PISOS, ESPESOR t , LONGITUD l . ALTURA EFECTIVA: $h_e = \rho_n h$											
MURO ARRIOSTRADO EN : 2 BORDES				3 BORDES			4 BORDES				
FORJADOS DE	EXCENTRICIDAD ARRIBA	TRAMO DE MURO	ρ_2	ρ_3 (1) SIENDO l/h					ρ_4 (2) SIENDO l/h		
				$\leq 0,2$	0,5	1	1,5	2	≤ 1	1,5	2
HORMIGON	$\leq 0,25 t$	EXCEPTO SUPERIOR	0,75	0,30	0,60	0,71	0,73	0,74	0,50	0,60	0,86
ARMADO	$> 0,25 t$	SUPERIOR	1	0,30	0,69	0,90	0,95	0,97	0,50	0,69	0,80
MADERA	—	TODOS	1								
$\rho_3 = \rho_2 / 1 + (\frac{\rho_2 h}{3l})^2 \leq 0,3$ SI $l > 15$ $\rho_3 = \rho_2$				$\rho_4 = \rho_2 / 1 + (\frac{\rho_2 h}{l})^2 \leq 0,5$ SI $l > 30$ $\rho_4 = \rho_2$							

El esfuerzo normal resistente R_d de un muro aparejado (*single leaf wall*) se realiza según el diagrama 30.

En un muro capuchino (*cavity wall*) el esfuerzo soportado por cada hoja se calcula también según el diagrama 30.

Un muro doblado con llaves (*double leaf collar jointed wall*) puede calcularse como muro aparejado si las llaves pueden resistir el esfuerzo cortante entre hojas. En caso contrario como muro capuchino.

30) EUROCODIGO EC6 CALCULO DE UN MURO, CON ESBELTEZ Y EXCENTRICIDAD	
$N_d \leq R_d = \phi t f_k / \gamma_m$ ϕ FACTOR DE REDUCCION	
EN LOS EXTREMOS i DEL MURO $\phi_i = 1 - 2 e_i / t$ CON $e_i = e_{fi} + e_{hi} + e_a$	
EN EL CENTRO m DEL MURO $\phi_m = 1,14(1 - 2e_{mk}/t) - 0,02 h_e / t_e$ CON $e_m = (e_{f1} + e_{f2})/2 + e_{hm} \pm e_a$ $e_{mk} = e_m + e_k$	
e_f	EXCENTRICIDAD TRANSMITIDA POR EL FORJADO, CON SU SIGNO
e_h	EXCENTRICIDAD RESULTANTE DE LAS ACCIONES HORIZONTALES
e_a	EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL
e_k	EXCENTRICIDAD DEBIDA A LA FLUENCIA
$e_k = 0$ CON PIEZAS CERAMICAS. SI $h_e / t_e \leq 15$, CON OTRAS PIEZAS, $e_k = 0,002 \phi_{\infty} (h_e / t_e) \sqrt{t e_m}$; ϕ_{∞} EN DIAGRAMA (28)	