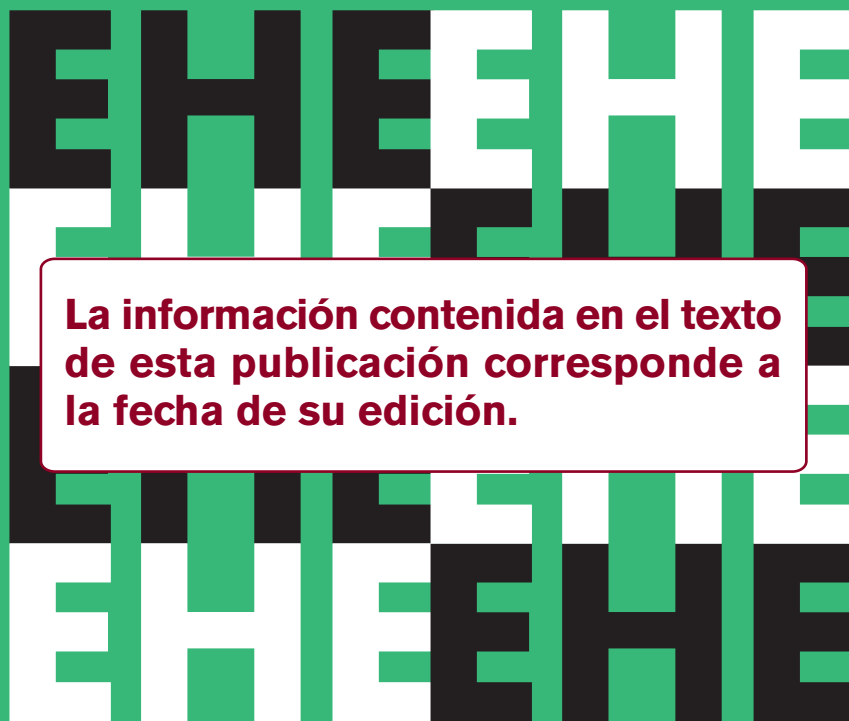


GUÍA

PARA EL USO DE LA INSTRUCCIÓN EHE



La información contenida en el texto de esta publicación corresponde a la fecha de su edición.

CÁLCULO



GUÍA

PARA EL USO DE LA INSTRUCCIÓN EHE

CÁLCULO

La información contenida en el texto de esta publicación corresponde a la fecha de su edición. Es posible, por tanto, que en la actualidad algunos datos (precios, normativa, leyes, etc.) se hayan modificado, lo cual debe tenerse en cuenta al hacer uso de ella.

Diseño de la portada: Toni Garriga

Reservados todos los derechos. Para la reproducción total o parcial de esta obra, en cualquier modalidad, será necesaria la autorización previa del titular del ©.

© Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC

1ª edición: Junio 1999

1ª reimpresión: Octubre 1999

2ª reimpresión: Febrero 2000

ISBN: 84-7853-370-2

Impreso en: Cometa

Depósito Legal: Z-1992-99



Institut de
Tecnologia de la Construcció
de Catalunya

Este trabajo se ha realizado en el ITeC, por:

redactores:

Fructuós Mañà i Reixach

Albert Sagrera i Cuscó

con la colaboración de:

Rafael Bellmunt i Ribas

Antoni Pla i Cavallé

Josep Ignasi de Llorens i Durans

Índice

PRESENTACIÓN	7
1. Introducción	11
2. Principios generales y método de los estados límite	13
3. Acciones	15
4. Materiales y geometría	18
5. Análisis estructural	20
5.1 Idealización de la estructura	20
5.2 Métodos de cálculo	21
5.3 Análisis estructural del pretensado	22
5.4 Estructuras reticulares planas	24
5.5 Placas	26
5.6 Membranas y láminas	27
5.7 Regiones D	28
5.8 Análisis en el tiempo	30
6. Materiales	32
6.1 Cemento, agua, áridos, otros componentes del hormigón	32
6.2 Hormigones	33
6.3 Armaduras	34
7. Durabilidad	36
8. Datos de los materiales para el proyecto	38
9. Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos	42
10. Cálculos relativos a los estados límite últimos	44
10.1 Estado límite de equilibrio. Estado límite de agotamiento ante sollicitaciones normales	44
10.2 Estado límite de inestabilidad	46
10.3 Estado límite de agotamiento ante cortante	47
10.4 Estado límite de agotamiento por torsión en elementos lineales	49
10.5 Estado límite de punzonamiento	51
10.6 Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones	53
10.7 Estado límite de fatiga	54
11. Cálculo relativo a los estados límite de servicio	56
11.1 Estado límite de fisuración	56
11.2 Estado límite de deformación	57
11.3 Estado límite de vibraciones	58
12. Elementos estructurales	60
12.1 Elementos estructurales de hormigón en masa, forjados, vigas y soportes	60
12.2 Placas, losas, muros y láminas	61

12.3 Elementos de cimentación y cargas concentradas sobre macizos	62
12.4 Zonas de anclaje, vigas de gran canto, ménsulas cortas y elementos con empuje al vacío	64
13. Ejecución	66
14. Anejos	67
15. Índice alfabético de contenidos	69

Presentación

Cuando se inicia la lectura de la Instrucción EHE da la sensación de que se trata de un documento muy distinto al precedente de la EH-91. Es una primera impresión que debe superarse ya que no es así. A medida que se avanza en su conocimiento se observa que más que cambios sustanciales, lo que se ha realizado es una gran reordenación del capitulado que implica una mejor secuencia de los conceptos. Ahora la Instrucción se muestra mucho más sistemática y se ajusta mejor al protocolo que, aún siendo implícitamente, se cumple en el cálculo de las estructuras. En primer lugar, se abordan los métodos de análisis estructural y de las acciones, después los estados límite (de rotura y de servicio), los coeficientes de seguridad y las prescripciones a considerar en el dimensionado de las secciones y de las piezas.

Por tanto no debe extrañar que, por ejemplo, el tema de losas sobre pilares, que en la EH-91 se trataba como un sistema cerrado, al final de la Instrucción (donde se indicaba desde cómo determinar el momento flector -mediante el método de los pórticos virtuales-, a cómo armar las losas y cómo enfocar la seguridad al punzonamiento, todo de una sola vez) ahora, en la nueva Instrucción, el tema se presenta segregado. La manera de determinar los esfuerzos está al inicio de la Instrucción, en el mismo capítulo que se abordan los métodos de análisis de estructuras; más adelante, cuando se trata el tema de cómo resolver los diversos elementos estructurales, se habla de su armado. El punzonamiento se trata, en otro lugar, como un estado límite asociado a los estados límite por esfuerzos rasantes, ya que el problema del punzonamiento es mucho más general y no se limita únicamente a las losas, puesto que afecta a otros elementos estructurales, como jácenas planas, elementos de cimentación, etc.

Puesto que la reubicación de los conceptos es una característica de la nueva Instrucción, se ha adoptado un objetivo inicial: realizar un

cuadro de correspondencias entre las tres Instrucciones: la EHE, la EH-91 y la EP-93 de manera que sea más fácil el acceso y establecer relaciones entre los diversos contenidos.

Pero, es obvio, que la Instrucción no es únicamente una reordenación de conceptos, hay bastantes innovaciones que deben (ahora de una forma resumida) resaltar. La más evidente es la síntesis que se produce entre el hormigón armado y el pretensado. La EP-93 era en muchos aspectos una repetición, párrafo a párrafo, de la EH-91. Aun cuando solo fuera por economía había que realizar esta síntesis (que por otro lado ya habían realizado muchos otros países europeos).

Se hace una apuesta muy radical en el sentido de mejorar la durabilidad de las estructuras. Tanto en el sentido de aumentar la resistencia a los agentes químicos como en el de retardar la corrosión de las armaduras.

Se introduce el concepto de «característica» en la geometría, al igual como antes se había hecho con las acciones y con las prestaciones de los materiales. Es lógico, puesto que el dimensionado, también debe tener en cuenta el nivel de confianza que existe en las medidas finales de los elementos. Actualmente, sin embargo, desconocemos la repercusión que puede tener este nuevo concepto en la determinación de la medida de «cálculo» de un elemento (diferente de la medida «nominal») y en la cantidad de armadura necesaria para armar una sección.

En el caso de que el nivel de control de la ejecución sea intenso, el coeficiente de mayoración de las acciones permanentes puede rebajarse a 1,35. Es una disposición interesante en un momento en el que, por diversas causas (la durabilidad entre ellas), las medidas de las secciones (es decir, el peso propio) una vez más, tienden a aumentar.

Se proponen métodos de análisis global de las estructuras que abarcan una gran cantidad de comportamientos, desde el análisis lineal

habitual al análisis plástico. Pero no se propone su ámbito de aplicación idóneo (en fase de proyecto o en fase de comprobación, por ejemplo).

En el dimensionado y en la resolución de elementos que no pueden cumplir con la Ley de Bernoulli-Naviere (en la Instrucción regiones D) se plantea la aplicación generalizada del método de las bielas y tirantes. Es una simplificación que ya se utilizaba, pero de una forma mucho menos estructurada, en diversos elementos de la EH-91 (ménsulas cortas, elementos rígidos de cimentación, etc.).

Aparecen nuevos estados límite (de fatiga, de agotamiento a esfuerzo rasante sobre juntas de hormigonado, de punzonamiento) y desaparecen otros (como el de adherencia).

Y cantidad de temas de detalle que superan la intención de esta exposición inicial.

Un aspecto, que a nivel práctico puede tener importancia, es la mayor complejidad que adoptan muchas de las fórmulas expuestas. Unas veces por causa de la incorporación del esfuerzo de pretensado, otras por que se consideran más variables que antes o debido a las nuevas unidades de medida. Todavía no se ha podido realizar una aplicación extensiva y por tanto no se sabe cuál será su repercusión en dificultad de cálculo y en coste de acero.

En conclusión, se trata de una Instrucción que deberá analizarse con detenimiento (aquí únicamente nos proponemos hacer una guía que permita localizar los diversos conceptos) ya que su propósito de abarcar un gran campo, desde la ingeniería civil a la construcción de viviendas y desde el hormigón armado al pretensado, a veces dificulta su comprensión. Pensamos que debería realizarse un trabajo de destilación de aquellos conceptos que corresponden a cada ámbito para hacerla más aplicable, considerando únicamente las variables más habituales.

En ningún caso, esta guía tiene el propósito de substituir a la Instrucción, todo lo contrario, su objetivo es el de crear incentivos que favorezcan una inmersión cómoda en sus conceptos.

Nota: El articulado se trata de forma discontinua ya que solo se consideran aquellos artículos que afectan el cálculo estructural o que tienen relación con la formación del expediente. Se han obviado aspectos de ejecución y de control ya que éstos han sido tratados en la publicación anterior *Guía para el uso de la Instrucción EHE (materiales, ejecución y control)*.

1. Introducción

a) Temas que se tratan

Documentos del proyecto.

Generalidades.

Memoria (Normas generales y Anejo de cálculo).

Cálculo por ordenador.

Planos.

Pliego de prescripciones técnicas.

Presupuesto.

Programa de trabajos.

Modificación del proyecto.

Aplicación de la ley de contratos de las Administraciones Públicas.

Documento final de la obra.

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay ningún concepto nuevo a señalar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
INTRODUCCIÓN	cap. I	cap. I	cap. I
Documentos de proyecto	art. 4	art. 4	art. 6
Generalidades	4.1	4.1	6.1
Memoria (normas generales, anejo de cálculo y cálculo por ordenador)	4.2	4.2	6.2
Planos	4.3	4.3	6.3
Pliego de prescripciones técnicas	4.4	4.4	6.4
Presupuesto	4.5	4.5	6.5
Programa de trabajos	4.6	4.6	6.6
Modificación del proyecto	4.7	4.7	6.7
Aplicación de la ley de contratos de las	4.8	4.8	6.8
Administraciones Públicas	4.9	4.9	6.9
Documento final de la obra			

d) Comentarios

Este tema ya ha sido tratado en la *Guía para el uso de la Instrucción EHE (materiales, ejecución, control)*. Se repite aquí por la sencilla razón de que las prescripciones que afectan a los documentos también son de la incumbencia de aquellos técnicos que se encargarán de la aplicación numérica de la Instrucción.

2. Principios generales y método de los estados límite

a) Temas que se tratan

Bases de cálculo.

El método de los estados límite (estados límite, estados límite últimos y estados límite de servicio).

Bases de cálculo orientadas a la durabilidad.

b) Definición de conceptos a destacar

Aún sin tratar temas nuevos es necesario recordar las definiciones de los estados límite ya que tienen un papel básico en el desarrollo de la norma.

Estado límite es una situación que si es superada puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada. Estado límite último es aquel que causa una puesta fuera de servicio de la estructura por colapso o ruptura. Estado límite de servicio es aquel que al ser superado se incumplen requisitos fundamentales de funcionalidad, comodidad, durabilidad u otros requerimientos que se hayan establecido.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
PRINCIPIOS GENERALES Y MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITE	cap. II	cap. VI	cap. VI
Bases de cálculo	art. 8	art. 30	art. 40
Método de los estados límite (estados límite, estados límite últimos y estados límite de servicio)	8.1	30.1-30.3	40.1-40.3
Bases de cálculo orientadas a la durabilidad	8.2	13.3b	19.4b

d) Comentarios

No hay cambios importantes a destacar en cuanto a los conceptos. Varía la nomenclatura del estado límite de utilización, que pasa a denominarse estado límite de servicio.

El tema de las «bases de cálculo» orientadas a la durabilidad es mucho más extenso en la nueva Instrucción. Aumentan los tipos de exposiciones y aparecen de nuevos. (Ver las tablas de la Instrucción 8.2.2, 8.2.3.a y 8.2.3.b).

Dentro de este capítulo (6.3) aparece como tema nuevo la posibilidad de comprobar las estructuras mediante ensayos en los casos en que estos impliquen una economía significativa de la estructura o cuando las reglas de la EHE no sean suficientes. Se ha de tener en cuenta sin embargo, que la norma especifica que este apartado no está lo bastante desarrollado y se ha de consultar bibliografía especializada.

3. Acciones

a) Temas que se tratan

Clasificación de las acciones.

Valores característicos de las acciones.

Valores representativos.

Valores de cálculo.

Combinación de las acciones.

b) Definición de conceptos a destacar

En la nueva Instrucción las acciones se clasifican en:

- Naturaleza (directas o indirectas).
- Variación en el tiempo (permanentes, permanentes de valor no constante, variables).
- Variación en el espacio (fijas, libres).

En el apartado 13.2 aparece por primera vez el concepto nuevo del estado límite de fatiga. Este tema se trata específicamente en el punto 10.7 de esta guía.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ACCIONES	cap. III	cap. V	cap. V
Clasificación de las acciones	art. 9	art. 27	art. 37
Valores característicos de las acciones	art. 10	art. 28	art. 38
Valores representativos	art. 11	-	-
Valores de cálculo	art. 12	art. 31	art. 41
Combinación de las acciones	art. 13	art. 32	art. 42

d) Comentarios

Solamente destacar los cambios que se han producido en los coeficientes de seguridad referentes a las acciones. Varían los valores y se ponen en función del nivel de control de ejecución.

En la nueva Instrucción desaparecen las acciones debidas al proceso constructivo que se contemplaban en la EP-93.

En el artículo 11, «Valores representativos de las acciones», aparece el concepto de que el valor representativo de una acción se consigue afectando el valor característico F_k por un factor ψ_i .

En los comentarios al artículo se indica que ψ_i puede ser:

$\psi_0 Q_k$ un valor de combinación (valor de la acción cuando actúa aisladamente o con alguna acción variable).

$\psi_1 Q_k$ un valor de frecuencia (valor de la acción cuando es sobrepasado en períodos cortos respecto a la vida útil de la estructura).

$\psi_2 Q_k$ valor de casi permanencia (valor de la acción cuando es sobrepasado durante una gran parte de la vida útil de la estructura).

(Este factor es función de la nueva clasificación de las acciones que se presenta en el artículo 9).

En el artículo 13 «Combinación de acciones», cuando se hace referencia a estructuras de edificación, el valor de ψ_i , deja de ser una variable y adopta valores numéricos concretos para cada una de las situaciones que se contemplan tal y como ocurría en la Instrucción anterior.

El término «hipótesis de carga» se sustituye con mucho mejor criterio por el de «combinación de acciones».

A la vista de la tabla 12.1.b se podría suponer que el coeficiente de mayoración de las cargas permanentes es de 1,35, pero debe considerarse:

1. Dicha tabla, en alguna edición, presenta los títulos equivocados, basta compararla con la tabla 95.5 (que es la misma).
2. El coeficiente de 1,35 solamente podrá aplicarse a las acciones permanentes cuando el nivel de control de ejecución sea intenso.

Se adopta como peso específico del hormigón en masa el valor de 2.300 kg/m³.

Por su importancia y por que hay una edición con errores se reproduce la tabla 12.1.b.

Tipo de acción	Nivel de control de ejecución		
	Intenso	Normal	Reducido
Permanente	$\gamma_G=1,35$	$\gamma_G=1,50$	$\gamma_G=1,60$
Pretensado	$\gamma_P=1,00$	$\gamma_P=1,00$	-
Permanente de valor no constante	$\gamma_G=1,50$	$\gamma_G=1,60$	$\gamma_G=1,80$
Variable	$\gamma_Q=1,50$	$\gamma_Q=1,60$	$\gamma_Q=1,80$

4. Materiales y geometría

a) Temas que se tratan

Principios.

Materiales (coeficientes de seguridad).

Geometría (valores característicos).

b) Definición de conceptos a destacar

La geometría se considera una variable estadística.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
MATERIALES Y GEOMETRÍA	cap. IV	-	-
Principios	art. 14	-	-
Materiales (coeficientes de seguridad)	art. 15	art. 31	art. 41
Geometría (valores característicos)	art. 16	-	-

d) Comentarios

En las Instrucciones anteriores no se trataba este tema de forma

específica.

Sobre los materiales se aplican los siguientes coeficientes parciales de seguridad (Tabla 15.3):

Situación del proyecto	Hormigón γ_c	Acero pasivo y activo γ_s
Persistente o transitoria	1,50	1,15
Accidental	1,30	1,00

Que no son aplicables al estado límite último de fatiga.

Se hace una extensión del concepto de «característica» a los datos geométricos ya que «las imprecisiones relativas a la geometría pueden tener un efecto significativo sobre la fiabilidad de la estructura».

$$a_k = a_d = a_{nom} + \Delta a$$

Siendo:

a_k valor característico de una medida

a_d valor de cálculo

a_{nom} valor nominal

Δa tolerancia

5. Análisis estructural

5.1 Idealización de la estructura

a) Temas que se tratan

Idealización de la estructura.

Datos geométricos (ancho eficaz del ala en piezas lineales en T, luces de cálculo y secciones transversales).

b) Definición de conceptos a destacar

Se enumeran diversos tipos de sección: bruta, neta, homogeneizada y fisurada.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap.V	-	-
Idealización de la estructura	art. 18	-	-
Idealización de la estructura	18.1		
Datos geométricos (ancho eficaz del ala en piezas lineales en T, luces de cálculo y secciones transversales)	18.2	art. 50	art. 51.2

d) Comentarios

En la EH-91 todo el análisis está en un mismo capítulo (VII), mientras que en la EHE se divide en dos, análisis estructural (V) y elementos estructurales (XII). La EP-93 no hace referencia a las especificaciones según elementos.

En el apartado dedicado a las piezas en T desaparecen las tablas ya que este elemento se trata como un dato geométrico (ancho eficaz).

5.2 Métodos de cálculo

a) Temas que se tratan

Métodos de cálculo.

Principios básicos y tipos de análisis (análisis lineal, análisis no lineal, análisis lineal con redistribución limitada y análisis plástico).

b) Definición de conceptos a destacar

Aunque este tema no se trata en las normas anteriores, no hay ninguna definición a destacar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap.V	-	-
Métodos de cálculo	art. 19	-	-
Principios básicos	19.1		
Tipos de análisis (análisis lineal, análisis no lineal, análisis lineal con redistribución limitada y análisis plástico)	19.2		

d) Comentarios

En el artículo 19, «Métodos de cálculo», se dice:

Los métodos de cálculo han de satisfacer las condiciones de equilibrio y de compatibilidad, considerando el comportamiento tenso-deformacional de los materiales. Si no se pueden satisfacer de una

manera estricta debe procurarse que estén equilibradas y satisfagan «a posteriori» las condiciones de ductilidad apropiadas.

El análisis global de una estructura se puede llevar a cabo de acuerdo con las metodologías siguientes:

- Análisis lineal.
- Análisis no lineal.
- Análisis lineal con redistribución limitada.
- Análisis plástico.

En los subartículos siguientes se realizan comentarios sobre estos métodos. En general se vincula su validez a si la estructura tiene la ductilidad suficiente como para garantizar las hipótesis iniciales de los diversos métodos.

Sobre este artículo (que amplía mucho el campo de los métodos de análisis a utilizar) se pueden hacer diversas consideraciones.

1. Cuando hay secciones que trabajan fuera del ámbito elástico es imposible controlar la fisuración (ergo la durabilidad).
2. No se especifica cuáles de estos métodos son más adecuados para la fase de proyecto y cuáles para la fase de comprobación.
3. Algunos de estos métodos no suelen estar al alcance de los técnicos que se dedican a la edificación.

5.3 Análisis estructural del pretensado

a) Temas que se tratan

Análisis estructural del pretensado.

Consideraciones generales.

Fuerza de pretensado (limitación de la fuerza, pérdidas en piezas con armaduras postesas, etc.).

Efectos estructurales del pretensado (modelización de los efectos del pretensado).

b) Definición de conceptos a destacar

El pretensado se tipifica en:

- Interior y exterior.
- Armaduras pretesas y postesas.
- Armadura adherente o no adherente.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap.V	-	-
Análisis estructural del pretensado	art. 20	-	art. 39
Consideraciones generales	20.1		39.1
Fuerza de pretensado (limitación de la fuerza, pérdidas en piezas con armaduras postesas, etc)	20.2.1, 20.2.2 y 20.2.3		39.2, 39.4 y 39.5
Efectos estructurales del pretensado (modelización de los efectos del pretensado)	20.3		

d) Comentarios

En este artículo desaparece el valor característico de la fuerza de pretensado. La fuerza de pretensado ha de proporcionar sobre las armaduras activas una tensión σ_{po} no mayor, en cualquier punto, que el más pequeño de los valores siguientes:

$$0,75 f_{p \max k} \qquad 0,9 f_{pk}$$

Siendo:

$f_{p \max k}$ carga unitaria máxima característica.

f_{pk} límite elástico característico.

Las pérdidas en piezas con armaduras postesas son las siguientes: fricción, penetración de cuñas, acortamiento elástico y diferidas.

Como novedad se contempla la consideración de las pérdidas en armaduras pretesas que son las siguientes: penetración de cuñas, relajación a temperatura ambiente hasta la transferencia, relajación adicional de la armadura (por calefacción), dilatación térmica de la armadura (por calefacción), retracción anterior a la transferencia acortamiento elástico en el momento de transferir.

Los efectos estructurales de pretensado se pueden modelizar o por medio de fuerzas equivalentes o por medio de deformaciones impuestas.

5.4 Estructuras reticulares planas

a) Temas que se tratan

Estructuras reticulares planas.

Generalidades.

Análisis lineal.

Análisis no lineal (modelos de comportamiento del material, análisis

no lineal en teoría de segundo orden y métodos simplificados en teorías de segundo orden).

Análisis lineal con redistribución limitada.

Análisis plástico.

b) Definición de conceptos a destacar

Es una novedad el listado de los métodos posibles de determinación de las solicitaciones.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap. V	-	-
Estructuras reticulares planas	art. 21	art. 52	-
Generalidades	21.1		
Análisis lineal	21.2		
Análisis no lineal	21.3		
Análisis lineal con redistribución limitada	21.4		
Análisis plástico	21.5		

d) Comentarios

Desaparece el sistema de cálculo simplificado de pórticos.

Como modelo de comportamiento de los materiales se aceptan modelos constitutivos uniaxiales.

Se proporciona la ecuación del diagrama tenso-deformación para el hormigón en el análisis no lineal.

5.5 Placas

a) Temas que se tratan

Placas.

Generalidades.

Análisis lineal.

Análisis no lineal.

Métodos simplificados para placas sobre apoyos aislados (método directo y método de los pórticos virtuales y criterios de distribución de momentos).

b) Definición de conceptos a destacar

No hay nuevos conceptos a señalar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap. V	-	-
Placas	art. 22	art. 53, 54 y 55	-
Generalidades	22.1		
Análisis lineal	22.2		
Análisis no lineal	22.3		
Métodos simplificados para placas sobre apoyos aislados (método directo y método de los pórticos virtuales y criterios de redistribución de momentos)	22.4	55.4	

d) Comentarios

En las placas sobre apoyos aislados (art. 22.4) además del método de los pórticos virtuales (ya conocido) se propone el método directo, muy simple pero con fuertes limitaciones sobre las cargas y la geometría.

Los momentos de las secciones críticas sobre los pilares y en medio de los tramos se deducen a partir de un porcentaje en función de la localización (Tabla 22.4.3.2).

En este artículo solamente se contempla la distribución de los momentos. El punzonamiento y el armado deben buscarse en otros artículos de la Instrucción: art.46 «Estados límite de punzonamiento» y art. 56.2 «Placas o losas sobre apoyos aislados».

5.6 Membranas y láminas

a) Temas que se tratan

Membranas y láminas.

Generalidades.

Tipos de análisis estructural.

b) Definición de conceptos a destacar

No hay conceptos importantes a resaltar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap. V	-	-
Membranas y láminas	art. 23	art. 56	-
Generalidades	23.1		
Tipos de análisis estructural	23.2		

d) Comentarios

Tan sólo comentar que se añade la posibilidad de utilizar el análisis no lineal.

5.7 Regiones D

a) Temas que se tratan

Regiones D.

Generalidades.

Tipos de análisis estructural (análisis lineal, método de bielas y tirantes y análisis no lineal).

b) Definición de conceptos a destacar

Regiones D (de discontinuidad) son estructuras o partes de una estructura en las que no es válida la Teoría General de la Flexión, es decir, allí donde no son aplicables las hipótesis de Bernoulli-Naviere.

Regiones B son aquellas en las que se cumplen estas hipótesis.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap. V	-	-
Regiones D	art. 24	-	-
Generalidades	24.1		
Tipos de análisis estructural (análisis lineal, método de bielas y tirantes y análisis no lineal)	24.2		

d) Comentarios

Si se establece una lista de todos los lugares en los que no se cumple la hipótesis de Naviere, destaca la importancia de contar con una herramienta de análisis para estas regiones.

- Cambios de geometría.
- Zonas de aplicación de cargas concentradas.
- Nudos estructurales.
- Vigas de gran canto.
- Ménsulas cortas.
- Macizos (y prácticamente todos los elementos de cimentación, etc.).

En el artículo 24.2.2, «Método de las bielas y tirantes», se propone sustituir la estructura o la parte de ella que constituyen regiones D, por una estructura de barras articuladas: comprimidas (que se definen como bielas y que normalmente están constituidas por hormigón) y traccionadas (tirantes) constituidas por la armadura.

En la Instrucción EHE hay una gran cantidad de elementos y de nudos que se analizan por este método.

5.8 Análisis en el tiempo

a) Temas que se tratan

Análisis en el tiempo.

Consideraciones generales.

Método general.

Método del coeficiente de envejecimiento.

Simplificaciones.

b) Definición de conceptos a destacar

Este tipo de análisis no se realizaba de forma explícita en las Instrucciones anteriores.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	cap. V	-	-
Análisis en el tiempo	art. 25	-	-
Consideraciones generales	25.1		
Método general	25.2		
Método del coeficiente de envejecimiento	25.3		
Simplificaciones	25.4		

d) Comentarios

El artículo 25, «Análisis en el tiempo», plantea un método que considera, en la obtención de las deformaciones y de los esfuerzos, los efectos de los fenómenos que se presentan de forma diferida:

- Fluencia.
- Retracción.
- Envejecimiento hormigón.
- Relajación acero de pretensado.

Cabe señalar que todas las propuestas de métodos de análisis se indican más como una «posibilidad» que como una «herramienta», con lo cual la operatividad de la Instrucción se ve perjudicada.

6. Materiales

6.1 Cemento, agua, áridos, otros componentes del hormigón

a) Temas que se tratan

Cementos.

Agua.

Áridos.

Otros componentes del hormigón (aditivos y adiciones).

b) Definición de conceptos a destacar

No hay conceptos importantes a destacar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
MATERIALES	cap. VI	cap. II	cap. I
Cementos	art. 26	art. 5	art. 7
Agua	art. 27	art. 6	art. 8
Áridos	art. 28	art. 7	art. 9
Otros componentes del hormigón	art. 29	art. 8	art. 10

d) Comentarios

A pesar de no tratarse de un apartado de matiz estructural-numérico, interesa destacar respecto a la durabilidad, el aumento notable de la cantidad de SO_3 y de cloruros Cl^- admisible en los áridos.

Aparece como tema nuevo (29.2.2) la posibilidad de utilizar el humo de sílice como adición del hormigón.

6.2 Hormigones

a) Temas que se tratan

Hormigones.

Composición.

Condiciones de calidad.

Características mecánicas.

Coefficientes de conversión.

Valor mínimo de resistencia.

Docilidad del hormigón.

b) Definición de conceptos a destacar

Comentar que se modifican los valores de las resistencias mínimas del hormigón estructural.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
MATERIALES	cap. VI	cap. II	cap. I
Hormigones	art. 30	art. 10	art. 11
Composición	30.1	10.1	11.1
Condiciones de calidad	30.2	10.2	11.2
Características mecánicas	30.3 (art. 39)	10.3 (art. 26)	11.3
Coefficientes de conversión	30.4	10.4	11.4
Valor mínimo de resistencia	30.5	10.5	11.5
Docilidad del hormigón	30.6	10.6	11.6

d) Comentarios

La resistencia de proyecto del hormigón f_{ck} deberá ser superior a 20 N/mm² en hormigones en masa y 25 N/mm² en hormigones arma-

dos o pretensados. Anteriormente la Instrucción no hacía ninguna distinción y especificaba un valor de 125 kp/cm^2 ($12,25 \text{ N/mm}^2$).

En las Instrucciones anteriores se recomendaba la utilización de hormigones de consistencia plástica compactados por vibrado y la no utilización de la consistencia fluida. En la EHE tan solo se recomienda que en edificación el cono de Abrams no sea inferior a 6 cm.

Se consideran los hormigones con endurecimiento rápido sobre la base de ciertos cementos y a una determinada relación agua-cemento.

Aparece un párrafo nuevo en el que se establece que para determinadas obras con un nivel de control reducido deberá adoptarse un valor de resistencia de cálculo a la compresión no superior a 10 N/mm^2 .

6.3 Armaduras

a) Temas que se tratan

Armaduras pasivas.

Armaduras activas.

Características mecánicas.

Sistemas de pretensado.

Dispositivos de anclaje y empalme de armaduras postesas.

Vainas y accesorios.

Productos de inyección.

b) Definición de conceptos a destacar

No hay conceptos a señalar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
MATERIALES	cap. VI	cap. II	cap. I
Armaduras pasivas	art. 31	art. 9	art. 12
Armaduras activas Características mecánicas	art. 32 32.2	-	art. 13 13.2
Sistemas de pretensado	art. 33	-	art. 14
Dispositivos de anclaje y empalme de las armaduras postesas	art. 34	-	art. 15
Vainas y accesorios	art. 35	-	art. 16
Productos de inyección	art. 36	-	art. 17

d) Comentarios

Respecto a las armaduras pasivas hay algunas variaciones relativas a los tipos y designación de armaduras y a los diámetros que ya están comentados en la *Guía para el uso de la Instrucción EHE (materiales, ejecución y control)*. Cabe destacar la reaparición del diámetro 14 mm y la desaparición de las barras lisas.

Respecto de las armaduras activas no hay diferencias importantes.

Como tema nuevo, cabe destacar la posibilidad de utilizar armaduras electrosoldadas en celosías (31.4) y la definición de un acero, B 400 SD, que garantiza el comportamiento de ductilidad elevada, sobre todo ante acciones sísmicas (anejo 12).

7. Durabilidad

a) Temas que se tratan

Durabilidad del hormigón y de las armaduras.

Generalidades.

Estrategias para la durabilidad (forma estructural, calidad del hormigón, recubrimientos, separadores, valores máximos de la abertura de la fisura).

Durabilidad del hormigón (dosificación, contenido de agua y cemento, resistencia ante la helada, el ataque por sulfatos, el agua de mar, la erosión y la reactividad álcali-árido).

Corrosión de la armadura (activas, pasivas y protección).

b) Definición de conceptos a destacar

Aunque este tema no se trataba en las anteriores instrucciones, no hay ningún concepto nuevo a señalar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
DURABILIDAD	cap. VI	-	-
Durabilidad del hormigón y de las armaduras	art. 37	-	-
Generalidades	37.1		
Estrategias para la durabilidad (forma estructural, calidad del hormigón, recubrimientos, separadores, valores máximos de la abertura de la fisura)	37.2		
Durabilidad del hormigón (dosificación, contenido de agua y cemento, resistencia ante la helada, el ataque por sulfatos, el agua de mar, la erosión y la reactividad álcali-árido)	37.3		
Corrosión de la armadura (activas, pasivas y protección)	37.4		

d) Comentarios

En las Instrucciones anteriores no había un capítulo dedicado exclusivamente a la durabilidad.

El recubrimiento del hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie de hormigón más próxima.

El recubrimiento nominal es igual al recubrimiento mínimo más el margen de recubrimiento. Este último es 0 para prefabricados con control intenso de la ejecución, 5 mm en elementos in situ con un nivel intenso de control de la ejecución y 10 mm en el resto de los casos.

El revestimiento mínimo está en función de la clase de exposición, de la resistencia característica del hormigón y del tipo de elemento. En esta Instrucción se detallan más los ambientes y se añaden otros, sobre todo los relacionados con los niveles de ataque químico (ver tabla 37.2.4). Otro cambio es que para un ambiente determinado el revestimiento varía según la resistencia característica del hormigón.

En el caso de armaduras postesas los revestimientos serán, al menos, iguales a 4 cm. Considerando los valores mínimos de revestimiento y el margen de revestimiento, es posible que en hormigones vistos haya revestimientos nominales de 5 cm, lo cual implica incrementos considerables de armadura para el control de la fisuración, por reducción en el canto útil disponible y por incrementos importantes de los pesos propios.

Se institucionaliza la colocación de separadores.

Se hace una referencia explícita al control de la anchura de la fisura.

8. Datos de los materiales para el proyecto

a) Temas que se tratan

Características del acero.

Generalidades.

Diagramas tensión-deformación.

Resistencias de cálculo.

Módulo de deformación longitudinal.

Relajación del acero.

Características de fatiga.

Características del hormigón.

Definiciones.

Tipificación.

Diagramas tensión-deformación.

Resistencia de cálculo.

Módulo de deformación.

Retracción.

Fluencia.

Coefficiente de Poisson y dilatación térmica.

b) Definición de conceptos a destacar

Aparecen matices en los diagramas característicos (ver comentarios).

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO	cap. VIII	cap. IV	cap. IV
Características del acero	art. 38	art. 25	art. 34
Generalidades	38.1	-	34.1
Diagramas de tensión-deformación	38.2, 38.4, 38.5 y 38.7	25.1 y 25.3	34.2, 34.4, 34.5 y 34.7
Resistencias de cálculo	38.3 y 38.6	25.2	34.3 y 34.6
Módulo de deformación longitudinal	38.8	-	34.8
Relajación del acero	38.9	-	34.9
Características de la fatiga	38.10 y 38.11	-	-
Características del hormigón		art. 26	art. 35
Definiciones (resistencia a tracción)	art. 39 39.1	26.1 y 10.3	35.1 y 11.3
Tipificación		26.2	35.2
Diagramas de tensión-deformación	39.2 39.3 y 39.5	26.4 y 26.6	35.4 y 35.6
Resistencia de cálculo		26.3 y 26.5	35.3 y 35.5
Módulo de deformación	39.4	26.7	35.7
Retracción	39.6	26.8	35.8
Fluencia	39.7	26.9	35.9
Coeficiente de Poisson y dilatación térmica	39.8 39.9 y 39.10	26.10 y 26.11	35.10 y 35.11

d) Comentarios

En el acero:

Cuando no se disponga de datos experimentales se puede suponer que el diagrama característico adopta una forma bilineal en el que la rama superior no es horizontal ($f_{max.} > f_{yk}$).

En el caso de utilizarse un nivel reducido de control para el acero deberá tomarse como resistencia de cálculo el valor (tanto para tracción como para compresión):

$$f_{yd} = \frac{0,75 f_{yk}}{\gamma_s}$$

También se indica que si coinciden aceros con diferente límite elástico, cada uno deberá calcularse según su diagrama correspondiente.

En cordones de pretensado, como valores novedosos y reiterativos del módulo de deformación longitudinal, se podrán adoptar los que establece el fabricante o se determinen experimentalmente. En el diagrama característico se debe adoptar el módulo reiterativo. Si no hay valores experimentales se puede adoptar el valor $E_p = 190.000 \text{ N/mm}^2$.

El módulo de deformación del acero es 200.000 N/mm^2 .

Aparece un apartado nuevo donde se hace referencia a las características de fatiga de las armaduras, donde básicamente se especifica cuál ha de ser el límite de fatiga.

En el hormigón:

Se añade la resistencia media a la tracción $f_{ct,m}$ y la resistencia característica superior $f_{ct,k,0,95}$.

Los hormigones se tipifican con un formato específico, el cual ya ha sido comentado en la guía de materiales, ejecución y control.

Se recomienda considerar el siguiente escalado de resistencias características en N/mm²:

20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50.

Cambian las expresiones que determinan los módulos de deformación a cargas instantáneas o rápidamente variables. Se hace referencia a la resistencia media del hormigón y no a la característica. Además, en los comentarios aparecen unas tablas donde se corrige el módulo de deformación con unos factores que dependen de la naturaleza del árido y de la edad del hormigón.

El método simplificado de cálculo de secciones a agotamiento o momento tope (art. 37) queda sustituido por el método del diagrama rectangular de la parte de hormigón comprimida (39.5 y anejo 8).

En esta Instrucción no se hace referencia a la resistencia mínima del hormigón en función de la del acero.

En el apartado de resistencia de cálculo del hormigón no se hace referencia a la reducción de un 10% que se establecía anteriormente en los elementos hormigonados verticalmente.

Se modifica el método de cálculo de la retracción y de la fluencia del hormigón.

Los gráficos del espesor ficticio sobre la retracción, de la evolución de la retracción en el tiempo y de la evolución de la deformación elástica diferida, han sido sustituidos por formulación.

9. Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos

a) Temas que se tratan

Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos.

Generalidades.

Capacidad resistente de los tirantes constituidos por armaduras.

Capacidad resistente de las bielas.

Capacidad resistente de los nudos.

b) Definición de conceptos a destacar

En este artículo se empieza a desarrollar toda una teoría para ser aplicada en las regiones D.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CAPACIDAD RESISTENTE DE BIELAS, TIRANTES Y NUDOS	cap. XI	-	-
Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos	art. 40	-	-
Generalidades	40.1		
Capacidad resistente de los tirantes constituidos por armaduras	40.2		
Capacidad resistente de las bielas	40.3		
Capacidad resistente de los nudos	40.4		

d) Comentarios

Este tema no se trataba de forma específica en las Instrucciones anteriores. A destacar que en el artículo 40, «Capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos», se desarrolla un método (nuevo) de análisis de bielas en diversas situaciones (de fisuración, por ejemplo) y, sobre todo, de análisis de los nudos estructurales.

La capacidad resistente máxima de bielas a compresión se limita a los valores:

En compresión uniaxial:	$f_{1cd}=0,85 f_{cd}$
En fisuras paralelas a las bielas:	$f_{1cd}=0,7 f_{cd}$
Cuando las bielas transmiten compresiones a través de fisuras:	$f_{1cd}=0,6 f_{cd}$
Cuando transmiten compresiones a través de fisuras de gran abertura:	$f_{1cd}=0,4 f_{cd}$
En estados biaxiales de compresión:	$f_{2cd}=f_{cd}$
En estados triaxiales de compresión:	$f_{3cd}=3,3 f_{cd}$
En nudos con tirantes anclados:	$f_{2cd}=0,7 f_{cd}$

10. Cálculos relativos a los estados límite últimos

10.1 Estado límite de equilibrio. Estado límite de agotamiento ante solicitaciones normales

a) Temas que se tratan

Estado límite de equilibrio.

Estado límite de agotamiento ante solicitaciones normales.

Principios generales de cálculo (definición de la sección, hipótesis básicas, dominios de deformación y dimensionado y comprobación de secciones).

Casos particulares (excentricidad mínima, efecto de confinamiento del hormigón y armaduras activas no adherentes).

Disposiciones relativas a las armaduras (flexión simple o compuesta, compresión simple o compuesta, tracción simple o compuesta, cuantías geométricas mínimas)

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay conceptos a resaltar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de equilibrio	art. 41		art. 45
Estado límite de agotamiento ante sollicitaciones normales	art. 42	art. 36	art. 46 y 47
Principios generales de cálculo (definición de la sección, hipótesis básicas, dominios de deformación y dimensionado y comprobación de secciones)	42.1	36.1 y 36.2	47.1, 47.2, 47.3 y 47.4
Casos particulares (excentricidad mínima, efecto de confinamiento del hormigón y armaduras activas no adherentes)	42.2	42.2.2 y 36.4	47.5 y 47.6
Disposiciones relativas a las armaduras (flexión simple o compuesta, compresión simple o compuesta, tracción simple o compuesta, cuantías geométricas mínimas)	42.3	art 38	47.8

d) Comentarios

En el estado límite de agotamiento ante sollicitaciones normales hay pequeñas diferencias que no se consideran significativas.

El tema del hormigón confinado en piezas zunchadas, en la EHE se ha asociado a bielas de hormigón confinado mediante una armadura situada adecuadamente (art. 40.3.4).

Desaparece el método simplificado de cálculo que se describía en la EP-93.

Respecto a las disposiciones relativas a las armaduras son de destacar los siguientes aspectos:

En los comentarios de las generalidades del artículo 42.3.1 se tratan aspectos referentes a las disposiciones de los estribos para arriostrar eficazmente las armaduras longitudinales, que en la EH-91 aparecían en los comentarios del artículo 38.2, compresión simple o compuesta.

La tabla de cuantías geométricas mínimas está en el artículo 42.3.5 (EHE) cuando en la EH-91 estaba en la tabla 38.3. A destacar que se aumentan considerablemente las cuantías de las armaduras geométricas mínimas de muros (sobre todo los horizontales) y losas.

10.2 Estado límite de inestabilidad

a) Temas que se tratan

Estado límite de inestabilidad

Generalidades.

Método general.

Comprobación de estructuras intraslacionales.

Comprobación de estructuras traslacionales.

Comprobación de soportes aislados (método general, método aproximado por flexión compuesta recta y método aproximado por flexión compuesta esviada)

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay conceptos a resaltar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de inestabilidad	art. 43	art. 43	art. 49
Generalidades	43.1	43.1	49.1
Método general	43.2	43.2	49.2
Comprobación de estructuras intraslacionales	43.3	43.3	49.3
Comprobación de estructuras traslacionales	43.4	43.4	49.4
Comprobación de soportes aislados (método general, método aproximado por flexión compuesta recta y método aproximado por flexión compuesta esviada)	43.5	43.5	49.5

Comentarios

Básicamente los conceptos son parecidos, a destacar que aparecen dos métodos aproximados de comprobación de dos estados específicos: la flexión compuesta recta y la flexión compuesta esviada.

10.3 Estado límite de agotamiento ante cortante

a) Temas que se tratan

Estado límite de agotamiento ante cortante

Consideraciones generales.

Resistencia a esfuerzo cortante de elementos lineales, placas y losas.

b) Definición de conceptos a destacar

En las Instrucciones anteriores este tema no se trataba como un estado límite.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de agotamiento ante cortante	art. 44	art. 39.1	art. 48.1
Consideraciones generales	44.1		
Resistencia a esfuerzo cortante de elementos lineales, placas y losas	44.2		

d) Comentarios

En las Instrucciones anteriores este tema se trataba como «cálculo resistente de secciones sometidas a solicitaciones tangentes». En la EHE se trata como «estado límite de agotamiento frente al cortante».

En la nueva Instrucción se plantea un sistema único para elementos lineales y para placas y losas (a estas últimas las denomina «piezas sin armadura cortante»), mientras que en la EH-91 y en la EP-93 había un capítulo específico para cada tema.

En las Instrucciones precedentes el modelo que se utilizaba para determinar la formulación se conocía por la «regla de cosido», mientras en la EHE, que utiliza el mismo modelo, se le denomina «método de bielas y tirantes».

Hay variaciones sustanciales en la formulación, sobre todo con la EH-91, ya que se ha introducido el efecto de la fuerza de pretensado.

Dichos cambios se encuentran en las expresiones relativas a: esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma, esfuerzo de agotamiento por tracción en el alma, contribución de la armadura transversal, contribución del hormigón a la resistencia a cortante, separación máxima entre armaduras (la separación entre estribos está en función de la relación entre V_{rd} , V_{u1} y V_{u2}) y la contribución de las armaduras longitudinales.

A diferencia de la EH-91, el esfuerzo cortante reducido pasa a denominarse esfuerzo cortante efectivo. En la formulación de este apartado solo se introduce el pretensado.

Respecto a la EH-91, aparece el artículo 44.2.3.5 donde se especifica que para calcular la unión entre alas y almas de las cabezas de vigas (en T, en I o en cajón) y, por tanto, tener en cuenta la rasante que se genera, se utilizará el método de bielas y tirantes. En la EH-91, este tema se trataba en el comentario al punto 39.1.3.3.2.

Desaparece un apartado de la EP-93 (48.1.3.7) donde se especificaba cuál debía ser la resistencia de piezas compuestas, es decir, constituidas por la unión de elementos de hormigón de diferente edad. En todo caso, se ha sustituido por el estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones (art. 47).

10.4 Estado límite de agotamiento por torsión en elementos lineales

a) Temas que se tratan

Estado límite de agotamiento por torsión en elementos lineales.

Consideraciones generales.

Torsión pura.

Interacción entre torsión y otros esfuerzos.

b) Definición de conceptos a destacar

En las Instrucciones anteriores este tema no se trataba como un estado límite. Los cambios en la formulación presentan analogías al punto anterior, estado límite de agotamiento ante cortante.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de agotamiento por torsión en elementos lineales	art. 45	art. 39.2	art. 48.2
Consideraciones generales	45.1		
Torsión pura	45.2		
Interacción entre torsión y otros esfuerzos	45.3		

d) Comentarios

No hay diferencias significativas, a pesar de que se le da un tratamiento más extenso y varía la formulación general en algunos apartados, como por ejemplo en las comprobaciones a realizar (45.2.2) y en la obtención de los momentos torsores (T_d , T_{u1} , T_{u2} y T_{u3}).

Respecto a la EP-93, se analiza con más detalle la combinación de la torsión con otros esfuerzos. Aparece un método simplificado para el cálculo de la torsión combinada con flexión y axil y para la torsión combinada con cortante.

10.5 Estado límite de punzonamiento

a) Temas que se tratan

Estado límite de punzonamiento.

Consideraciones generales.

Losas sin armadura a punzonamiento.

Losas con armadura a punzonamiento.

Resistencia máxima.

Disposiciones relativas a las armaduras.

b) Definición de conceptos a destacar

Estado límite nuevo que no se trataba en las anteriores Instrucciones.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de punzonamiento	art. 46	art. 55.5	-
Consideraciones generales	46.1		
Losas sin armadura a punzonamiento	46.2 46.3		
Losas con armadura a punzonamiento	46.4		
Resistencia máxima	46.5		
Disposiciones relativas a las armaduras			

d) Comentarios

El punzonamiento, que hasta ahora había sido un método de cálculo a cortante subsidiario del cálculo de losas sobre pilares (art. 55 de la EH-91), se trata como un estado límite independiente, vinculado, evidentemente, a los estados límite de agotamiento por esfuerzos rasantes.

Dentro del apartado de consideraciones generales se define el área crítica, limitándola a una distancia igual a $2d$ desde el perímetro del área cargada o soporte, siendo d el canto útil de la losa, cuando en la EH-91 este mismo valor era de $0,5d$. Se adopta el criterio de redondear las esquinas del área crítica.

Varia notablemente la formulación referente a las comprobaciones que se han de realizar, tanto para saber si es necesario el armado a punzonamiento de las losas, como en el dimensionado del armado. Haciendo constar que en la versión editada de la Instrucción de que disponemos actualmente, debe haber algún error ya que queda por definir la variable A_{sw} (armadura total de punzonamiento).

Se comprueba si es necesario más armadura en la zona exterior a la armadura de punzonamiento.

Aparece un apartado donde se hace referencia a la resistencia máxima de punzonamiento que se puede conseguir (46.4).

Las disposiciones constructivas de la EH-91 quedan sustituidas por el apartado referido a las disposiciones relativas a las armaduras (46.5).

10.6 Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones

a) Temas que se tratan

Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones.

Generalidades.

Resistencia a esfuerzo rasante en juntas entre hormigones.

Disposiciones relativas a las armaduras.

b) Definición de conceptos a destacar

Estado límite nuevo que anteriormente no se trataba.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones	art. 47	-	-
Generalidades	47.1		
Resistencia a esfuerzo rasante en juntas entre hormigones	47.2		
Disposiciones relativas a las armaduras	47.3		

d) Comentarios

Se establece por primera vez un estado límite basado en el agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones.

Se define una tensión máxima rasante que se solicita a la junta la cual, básicamente, depende de la resistencia de cálculo del hormigón y del acero, de las características de la armadura de cosido, de la superficie de contacto por unidad de longitud, de la rugosidad de la superficie y de la tensión externa normal al plano de la junta.

En el apartado dedicado a las disposiciones relativas a las armaduras se define el concepto de junta frágil y junta dúctil, tomando como referencia el valor dado en el artículo de Resistencia máxima (47.2) para poder compatibilizar la contribución de la armadura de cosido.

10.7 Estado límite de fatiga

a) Temas que se tratan

Estado límite de fatiga.

Principios.

Comprobaciones a realizar (hormigones y armaduras activas y pasivas).

b) Definición de conceptos a destacar

Aunque se trata de un estado límite nuevo que anteriormente no se trataba, no hay conceptos nuevos a destacar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS	cap. X	cap. VII	cap. VII y VIII
Estado límite de fatiga	art. 48	-	-
Principios	48.1		
Comprobaciones a realizar (hormigones y armaduras activas y pasivas)	48.2		

d) Comentarios

Se incluye la fatiga como nuevo estado límite en el articulado, y se especifica que «en estructuras normales no suele ser necesaria la comprobación de este estado límite».

Con el fin de comprobar la seguridad de un elemento o detalle estructural ante la fatiga debe cumplirse la condición general especificada en 8.1.2 referente a los estados límite últimos. Las comprobaciones deberán hacerse por separado para el hormigón y el acero.

11. Cálculo relativo a los estados límite de servicio

11.1 Estado límite de fisuración

a) Temas que se tratan

Estado límite de fisuración.

Consideraciones generales.

Fisuración por solicitaciones normales.

Limitaciones de la fisuración por esfuerzo cortante.

Limitación de la fisuración por torsión.

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay ningún concepto a resaltar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	cap. XI	-	cap. X
Estado límite de fisuración	art. 49	art. 44	art. 51
Consideraciones generales	49.1	art. 44	art. 51
Fisuración por solicitaciones normales	49.2		-
Limitaciones de la fisuración por esfuerzo cortante	49.3		art. 52
Limitación de la fisuración por torsión	49.4		art. 53

d) Comentarios

En la nueva Instrucción hay más clases de exposición que provocan cambios significativos, en los valores máximos de la abertura de fisura (Tabla 49.2.4).

En general, respecto a la EP-93 hay cambios significativos al articulado y a la formulación. Desaparecen los subartículos dedicados a la definición de los diferentes tipos de secciones (sección bruta, sección neta, sección homogeneizada y sección eficaz), que en la EHE se pueden encontrar en el artículo 18.2.3.

Respecto a la EH-91, aparecen como temas nuevos los apartados dedicados a la fisuración por cortante y por torsión.

Desaparece el método simplificado de cálculo que se encontraba en la EH-91 donde se especificaba que no era necesario comprobar la anchura de fisura si las armaduras eran corrugadas y los valores de las tensiones de servicio inferiores a las de la tabla 44.4 (EH-91).

11.2 Estado límite de deformación

a) Temas que se tratan

Estado límite de deformación

Consideraciones generales.

Elementos sometidos a flexión simple o compuesta (método general, método simplificado).

Elementos sometidos a torsión.

Elementos solicitados a tracción pura.

b) Definición de conceptos a destacar

Anteriormente, a la EH-91, no se trataba la deformación como un estado límite.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	cap. XI	-	cap. X
Estado límite de deformación	art. 50	art. 45	cap. XI
Consideraciones generales	50.1	45.1	art. 54
Elementos sometidos a flexión simple o compuesta (método general, método simplificado)	50.2	45.2, 45.3 y 45.4	art. 55
Elementos sometidos a torsión	50.3		art. 56
Elementos solicitados a tracción pura	50.4		-

d) Comentarios

Como aspecto más relevante, en el estado límite de deformación aparece una tabla de cantos mínimos que ahorra la comprobación de la flecha en situaciones normales de uso en edificación y por elementos armados con acero $f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$ (Tabla 50.2.2.1).

En el cálculo de la flecha instantánea y la flecha diferida, a destacar que hay algún caso en la formulación respecto a la EP-93. Básicamente, no se tiene en cuenta el momento que crea la fuerza de pretensado ($0,9 M_{k,e}$).

Respecto a la EH-91, se hace referencia al giro de las piezas solicitadas a torsión y a los alargamientos unitarios de las piezas solicitadas a tracción pura.

11.3 Estado límite de vibraciones

a) Temas que se tratan

Estado límite de vibraciones.

Consideraciones generales.

Comportamiento dinámico.

b) Definición de conceptos a destacar

El estado límite de vibraciones es un estado nuevo que anteriormente no se trataba.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO	cap. XI	-	cap. X
Estado límite de vibraciones	art. 51	-	-
Consideraciones generales	51.1		
Comportamiento dinámico	51.2		

d) Comentarios

Básicamente, con el fin de prever el efecto de las vibraciones sobre la estructura y sus ocupantes, deberá proyectarse la estructura de tal forma que las frecuencias naturales de vibración se alejen suficientemente de los valores críticos expuestos en la tabla 51.2.

12. Elementos estructurales

12.1 Elementos estructurales de hormigón en masa, forjados, vigas y soportes

a) Temas que se tratan

Elementos estructurales de hormigón en masa.

Forjados.

Vigas.

Soportes.

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay ningún concepto a resaltar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	cap. XII	cap. VIII	-
Elementos estructurales de hormigón en masa	art. 52	art. 46	-
Forjados	art. 53	art. 47	-
Vigas	art. 54	art. 48	-
Soportes	art. 55	art. 49	-

d) Comentarios

En los apartados de la EHE de los elementos estructurales de hormigón en masa, comentar que han desaparecido los artículos que hacían referencia a la resistencia de cálculo del hormigón (46.3) y al diagrama tensión-deformación del hormigón (46.4).

Tal como se comenta en la *Guía para el uso de la Instrucción EHE (materiales, ejecución y control)* varían los tipos de hormigones que pueden utilizarse.

Respecto a los forjados no se producen cambios significativos.

Tanto en las vigas como en los soportes los conceptos son los mismos y únicamente cambia el articulado referente a las comprobaciones.

12.2 Placas, losas, muros y láminas

a) Temas que se tratan

Placas y losas.

Muros.

Láminas.

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay conceptos a señalar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	cap. XII	cap. VIII	-
Placas y losas	art. 56	art. 53, 54 y 55	-
Muros	art. 57	-	-
Láminas	art. 58	art. 56	-

d) Comentarios

En las placas y losas, la parte de cálculo se ha segregado de la de armado y de las disposiciones constructivas (art. 22). Las piezas en T que en la EH-91 estaban en estos apartados han pasado al punto 18.2.

Cabe destacar que en las placas de hormigón armado, el valor del canto total mínimo (L/32 macizas y L/28 aligeradas) es bastante bajo y puede presentar problemas por lo que se refiere a las flechas.

En este apartado, mientras que en la nueva instrucción se recomienda que el espesor de la capa de compresión no sea inferior a 5 cm y que se disponga de una malla de repartición, en la EH-91 se propone un espesor de 3 cm y no se menciona la armadura de repartición.

El apartado de muros no aparecía en la EH-91. Básicamente, su cálculo se refiere, a la comprobación de diferentes estados límite; la disposición de las armaduras; etc. que se han de buscar en otros artículos de la Instrucción.

En las láminas, respecto a la normativa anterior, los conceptos son los mismos y solamente cambia el articulado donde se han de realizar las comprobaciones.

12.3 Elementos de cimentación y cargas concentradas sobre macizos

a) Temas que se tratan

Elementos de cimentación.

Cargas concentradas sobre macizos.

b) Definición de conceptos a destacar

No hay ninguna definición importante a resaltar.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	cap. XII	cap. VIII	-
Elementos de cimentación	art. 59	art. 58	-
Cargas concentradas sobre macizos	art. 60	art. 57	-

d) Comentarios

En los elementos de cimentación no se producen cambios importantes. Los tipos se reducen a las zapatas flexibles y a las rígidas. En las rígidas se aplica el método de bielas y tirantes (anteriormente este punto no estaba tan formalizado). En las flexibles se aplica la teoría de la flexión.

Aparece como nuevo el apartado (59.6) sobre pilotes, en el que se dice específicamente «la comprobación de un pilote es análoga a la de un soporte» (art. 55) y se prescribe una forma de determinar el diámetro de cálculo (d_{cal}).

Como temas nuevos también encontramos los apartados dedicados a las paredes sobre pilotes y a las losas de cimentación.

Desaparecen, como pasa en toda la norma, los temas referentes a la adherencia de las armaduras.

Respecto a las cargas concentradas sobre macizos, los conceptos son iguales, pero en la nueva Instrucción se justifica por el método de bielas y tirantes ya que se trata de una zona D (no se cumple la ley de Bernoulli-Naviere).

Básicamente, se trata de un tema (fundamentalmente basado en el método de bielas y tirantes) mucho más ordenado y entendedor que el correspondiente de la EH-91.

12.4 Zonas de anclaje, vigas de gran canto, ménsulas cortas y elementos con empuje al vacío

a) Temas que se tratan

Zonas de anclaje.

Vigas de gran canto.

Ménsulas cortas.

Elementos con empuje al vacío.

b) Definición de conceptos a destacar

Se aplica el método de las bielas y tirantes para justificar las prescripciones de algunos de los artículos.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	cap. XII	cap. VIII	-
Zonas de anclaje	art. 61	-	art. 57
Vigas de gran canto	art. 62	art. 59	-
Ménsulas cortas	art. 63	art. 61	-
Elementos con empuje al vacío	art. 64	art. 51	-

d) Comentarios

Las zonas de anclaje al ser una región D, se refieren al método general de análisis para este tipo de elementos (bielas y tirantes).

En las vigas de gran canto la nueva Instrucción se refiere a los criterios generales de región D y varía la formulación propuesta por la EH-91.

Las ménsulas cortas se tratan con el método de bielas y tirantes, por tanto cambia la formulación.

En resumen, en estos dos artículos, se aprovecha el método de bielas y tirantes para justificar tanto la formulación como el posicionamiento de las armaduras principales.

No se introducen variaciones importantes en los elementos con empuje al vacío, respecto a las piezas circulares, en cambio, desaparecen los apartados dedicados a las piezas de sección delgada y a las piezas de canto superior a 60 cm.

Básicamente, el tema se generaliza ya que en las instrucciones anteriores únicamente se trataba en casos concretos (por ejemplo losas).

13. Ejecución

a) Temas que se tratan

Juntas de hormigonado y uniones de hormigonado entre elementos prefabricados.

b) Definición de conceptos a destacar

Las uniones de continuidad entre piezas prefabricadas no se trataban en ninguna Instrucción anterior.

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
Juntas de hormigonado	art. 71	art. 17	art. 24
Uniones de hormigonado entre elementos prefabricados	art. 77	-	-

d) Comentarios

Las juntas de hormigonado deben estar previstas en el proyecto y su forma ha de ser objeto de diseño.

Las uniones entre las diversas piezas prefabricadas o entre ellas y los elementos construidos in situ deberán asegurar la correcta transmisión de los esfuerzos (que su comportamiento se ajuste a las hipótesis de proyecto) y han de poder absorber las tolerancias dimensionales sin originar esfuerzos anómalos.

14. Anejos

a) Temas que se tratan

Protección contra el fuego

Cálculo simplificado de secciones en estado límite de agotamiento ante acciones normales.

Análisis de secciones fisuradas en servicio sometidas a flexión simple.

Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas.

b) Definición de conceptos a destacar

En este apartado no hay ningún concepto a resaltar (véanse comentarios)

c) Correspondencia entre la EHE, la EH-91 y la EP-93

TEMA	EHE	EH-91	EP-93
Protección contra el fuego	Anejo 7	Anejo 6	-
Cálculo simplificado de secciones en estado límite de agotamiento ante acciones normales	Anejo 8	Anejo 7	-
Análisis de secciones fisuradas en servicio sometidas a flexión simple	Anejo 9	-	-
Tolerancias	Anejo 10	-	-
Hormigones de alta resistencia	Anejo 11	-	-
Requisitos especiales recomendados para estructuras sometidas a acciones sísmicas	Anejo 12	-	-

d) Comentarios

En el cálculo simplificado de secciones en estado límite de agotamiento ante acciones normales, tal como se ha comentado anteriormente, la Instrucción EHE, a diferencia de la EH-91, plantea como sistema de cálculo el método del diagrama rectangular sin tope.

Los requisitos especiales para estructuras de hormigón sometidas a acciones sísmicas no se trataban en las Instrucciones anteriores.

Sin entrar en detalle, cabe señalar que a menudo se adoptan criterios diferentes a aquellos que se especifican en algunas normas

básicas (CPI y NCSE).

Tampoco se indica en las Instrucciones anteriores las recomendaciones que hace la EHE sobre hormigones de alta resistencia ni sobre tolerancias dimensionales, aspecto fundamental para poder deducir las medidas de cálculo.

Desaparece, respecto a la EH-91, el anejo que se refiere a la adherencia de las barras corrugadas.

15. Índice alfabético de contenidos*

ACABADO	76
ACCIONES	9-10-11-12-13-Anejo 12
ADICIONES	29.2
ADITIVOS	29.1-69.2.4.4
AGRESIVIDAD	Anejo 5
AGUA	27-69.2.4.3
AGUA/CEMENTO	37.3.2
AMASADO	69.2.5-69.2.6
AMBIENTE	8.2
ANÁLISIS	17-18-19-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-Anejos 8 y 9
ANCHURA EFICAZ	18.2.1
ANCLAJE DE ARMADURAS	66.5
ARMADO	66
ARMADURAS	31-38-42.3-44.2.3.4-45.2.3-46.5-47.3-59.8-66
BIELAS, TIRANTES Y NUDOS	40
CÁLCULO	17-18-19-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-Anejos 8 y 9
CANTO MÍNIMO (CIMENTOS)	59.8.1
CANTO MÍNIMO (VIGAS, LOSAS, PLACAS)	50.2.2.1
CEMENTO	26-37.3.2-69.2.4.1-Anejos 3 y 4
CENIZAS	29.2.1
CIMENTOS	59
COEFICIENTES DE SEGURIDAD	6-12.1-15.3-95.5
COMPACTACIÓN	70
COMPRESIÓN	42.3.3-52.4-52.5
CONSISTENCIA	30.6
CONTROL	69.2.9-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-95-99
CONTROL DE LA EJECUCIÓN	95-99
CONTROL DE LOS MATERIALES	81-82-83-84-85-86-87-88-89-90
CONTROL DE RECEPCIÓN	69.2.9-83-84-85-88-90-95-99
CORROSIÓN	37.4
CORTANTE	44-52.5
CUANTÍAS MÍNIMAS	42.3.5-59.8
CURADO	74
DESENCOFRADO	75
DISTANCIAS ENTRE BARRAS	66.4
DOBLADO DE BARRAS	66.3

*realizado por Josep Ignasi de Llorens para la Escola J.LL. Sert del COAC

DOCUMENTOS	4-69.2.9.1
DOMINIOS DE DEFORMACIÓN	42.1.3
DOSIFICACIÓN	68-69.2.3
DURABILIDAD	8.2-37-Anejo 5
EMPALME DE ARMADURAS	66.6
ENCEPADOS	59
ENCOFRADO	65-75
ENVEJECIMIENTO	25
ESTADOS LÍMITE	8.1
ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	8.1.3-49-50-51-Anejo 9
ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS	8.1.2-41-42-43-44-45-46-47-48-Anejo 8
ESTRIBOS	2.3.1-44.2.3.4.1-45.2.3
ESTRUCTURAS RETICULARES PLANAS	21
EXCENTRICIDAD	42.2.1
EJECUCIÓN	65-66-68-69-70-71-72-73-74-75
FABRICACIÓN	69
FATIGA	48
FISURACIÓN	37.2.6-49
FLECHA	50.2.2.2- 50.2.2.3
FLEXIÓN	42.3.2-43.5.1-43.5.2-43.5.3
FLUENCIA	25-39.8
FORJADOS	53
FORJADOS RETICULARES	22-56
FUEGO	Anejo 7
GRANULADOS	28-69.2.4.2
GRANULOMETRÍA	28.3.3
GRUPOS DE BARRAS	66.4.2-66.5.3-66.6.3
HORMIGÓN	30-37.3.2-39-68-69.2.8-Anejo 11
HORMIGÓN EN MASA	52-59.7
JUNTAS	47-71-77
LÁMINAS	23-58
LOSAS	22-56
LOSAS DE CIMENTACIÓN	59.4.2.2
LUZ	18.2.2
MACIZOS	60
MALLAS	31.3-66.5.4-66.6.4
MANGUITOS DE EMPALME	66.6.6
MATERIALES	15-26-31-38-39-81
MEMBRANAS	23
MEMORIA	4.2
MÉNSULAS CORTAS	63

MUROS	57
NORMAS UNE	Anejo 2
NOTACIÓN	Anejo 1
PANDEO	43-52.6
PILARES	55
PILOTES	59.6
PLACAS	22-56
PLANOS	4.3
PLIEGO DE CONDICIONES	4.4
PÓRTICOS VIRTUALES	22.4.4
PRESUPUESTO	4.5
PROYECTO	4
PRUEBAS DE CARGA	99
PUESTA EN OBRA	65-66-68-69-70-71-72-73-74-75
PUNZONAMIENTO	46
RASANTE	44.2.3.5-47
RECEPCIÓN	69.2.9-83-84-85-88-89-90-95-99
RECUBRIMIENTOS	37.2.4
REGIONES D (BIELAS, TIRANTES, MACIZOS)	24-40-60
RELAJAMIENTO	25
REQUERIMIENTOS	5
RESISTENCIA DE HORMIGÓN	30.5-37.3.2
RETRACCIÓN	25-39.7
SECCIÓN	18.2.3
SECCIÓN FISURADA	18.2.3.5
SEGURIDAD	6-12.1-15.3-95.5
SELLOS DE CALIDAD, CERTIFICACIONES, DISTINTIVOS	1.1
SEPARADORES	37.2.5-66.2
SITUACIONES DE PROYECTO	7
TIEMPO	25
TOLERANCIAS	76-96-Anejo 10
TORSIÓN	45
TRACCIÓN	42.3.4
TRANSPORTE	69.2.7
UNIDADES	3
VERTIDO	70-71-72-73
VIGAS CENTRADORAS	59.5
VIGAS DE GRAN CANTO	62
VIGAS-RIOSTRA (DE CIMENTACIÓN)	59.5
VIGAS	54
ZAPATAS	59

ITeC

**Institut de
Tecnologia de la Construcció
de Catalunya**

Wellington 19
E-08018 Barcelona
tel. 93 309 34 04
fax 93 300 48 52
e-mail: info@itec.es
http://www.itec.es