
ÍNDICE

Prólogo a la edición española	17
Prólogo a la edición inglesa	18
Introducción	21
Personas que han contribuido al CM-90	28
PARTE I. DATOS DE PROYECTO	
1. Bases de cálculo	33
<i>1.1. Exigencias y criterios</i>	33
1.1.1. Exigencias generales	33
1.1.2. Criterios	34
1.1.3. Niveles de fiabilidad.....	35
1.1.4. Medidas de garantía de calidad	35
1.1.5. Métodos de cálculo.....	36
<i>1.2. Estados límites</i>	37
1.2.1. Generalidades	37
1.2.2. Estados límites últimos (ELU)	37
1.2.3. Estados límites de servicio (ELS)	38
<i>1.3. Métodos de cálculo</i>	38
<i>1.4. Método de los coeficientes parciales</i>	40
1.4.1. Generalidades	40

1.4.2.	Representación de las acciones	42
1.4.3.	Representación del pretensado	44
1.4.4.	Valores representativos de las propiedades de los materiales	49
1.4.5.	Parámetros geométricos	49
1.5.	<i>Bases de cálculo orientadas a la durabilidad</i>	51
1.5.1.	Generalidades	51
1.5.2.	Tipos de exposición	52
1.5.3.	Criterios de proyecto con durabilidad	53
1.6.	<i>Reglas básicas de cálculo</i>	53
1.6.1.	Generalidades	53
1.6.2.	ELU de agotamiento de regiones críticas	54
1.6.3.	ELU de pandeo	63
1.6.4.	ELU de fatiga	66
1.6.5.	ELU de equilibrio estático y estados límites análogos	69
1.6.6.	Estados límites de servicio	71
2.	Propiedades de los materiales	75
2.1.	<i>Hormigón - Clasificación y relaciones fundamentales</i>	75
2.1.1.	Definiciones y clasificación	75
2.1.2.	Densidad	76
2.1.3.	Resistencia	76
2.1.4.	Tensión y deformación	83
2.1.5.	Efectos de la velocidad de carga y de deformación. Impacto	96
2.1.6.	Efectos diferidos	99
2.1.7.	Fatiga	110
2.1.8.	Efectos de la temperatura	114
2.1.9.	Transporte de líquidos y gases en hormigón endurecido	119
2.2.	<i>Armaduras pasivas</i>	127
2.2.1.	Generalidades	127
2.2.2.	Clasificación	128
2.2.3.	Geometría	128
2.2.4.	Propiedades mecánicas	129
2.2.5.	Propiedades tecnológicas	131
2.3.	<i>Acero de pretensado</i>	132
2.3.1.	Generalidades	132
2.3.2.	Clasificación	133
2.3.3.	Geometría	134
2.3.4.	Propiedades mecánicas	134
2.3.5.	Propiedades tecnológicas	138
3.	Modelos generales	141
3.1.	<i>Relación tensión de adherencia - deslizamiento</i>	141

3.1.1.	Modelo para la relación tensión de adherencia local - deslizamiento	142
3.1.2.	Efecto de la fluencia	146
3.1.3.	Aplicaciones del modelo	147
3.2.	<i>Efecto tensorrigidez</i>	148
3.2.1.	Definición.....	148
3.2.2.	Esquema de fisuración	148
3.2.3.	Relación tensión-deformación del acero embebido en hormigón	150
3.3.	<i>Compresión local</i>	153
3.3.1.	Descantillado en las proximidades de los bordes extremos de una superficie parcialmente cargada	153
3.3.2.	Desgarramiento en zonas más profundas	155
3.3.3.	Aplastamiento superficial.....	158
3.4.	<i>Compresión y tracción biaxial</i>	159
3.5.	<i>Datos para hormigón confinado</i>	161
3.5.1.	Generalidades	161
3.5.2.	Estado Límite Ultimo bajo solicitaciones axiales	161
3.6.	<i>Relación momento-curvatura</i>	168
3.7.	<i>Capacidad de rotación</i>	171
3.8.	<i>Rigidez a torsión</i>	174
3.9.	<i>Rozamiento hormigón-hormigón</i>	175
3.9.1.	Definiciones	175
3.9.2.	Tensiones tangenciales de cálculo.....	176
3.10.	<i>Efecto pasador</i>	178
4.	Datos relativos al pretensado	181
4.1.	<i>Tipos de pretensado</i>	181
4.2.	<i>Tensión de tesado, instante de tesado</i>	182
4.3.	<i>Pretensado inicial</i>	183
4.3.1.	Generalidades	183
4.3.2.	Pérdidas antes de la transferencia del pretensado (armaduras pretesas).....	184
4.3.3.	Pérdidas instantáneas más usuales	184
4.4.	<i>Valor de la fuerza de pretensado</i>	188
4.4.1.	Cálculo de las pérdidas diferidas.....	188
4.5.	<i>Propiedades de adherencia de tendones postesados</i>	189

4.5.1.	Generalidades	189
4.5.2.	Valores numéricos	189
4.6.	<i>Valores de cálculo de las fuerzas en los tendones de pretensado</i>	190
4.6.1.	Generalidades	190
4.6.2.	Definición del pretensado.....	190
4.6.3.	Valores de cálculo para las comprobaciones de los estados límites de servicio	191
4.6.4.	Valores de cálculo para las comprobaciones de los estados límites últimos.....	191
4.7.	<i>Anclajes y acopladores (armaduras postesas)</i>	191
4.7.1.	Generalidades	191
4.7.2.	Transferencia de la carga del conjunto tendón-anclaje al hormigón	192
4.8.	<i>Protección de tendones frente a la corrosión</i>	192
4.8.1.	Generalidades	192

PARTE II. MÉTODOS DE CÁLCULO

5. Análisis estructural

5.1.	<i>Generalidades</i>	193
5.2.	<i>Idealización de la estructura</i>	194
5.2.1.	Clasificación dimensional de los elementos estructurales	194
5.2.2.	Clasificación en función del nivel de discretización	194
5.2.3.	Parámetros geométricos	195
5.3.	<i>Métodos de cálculo</i>	195
5.3.1.	Principios básicos	195
5.3.2.	Tipos de análisis estructural	196
5.4.	<i>Vigas y pórticos</i>	198
5.4.1.	Análisis no lineal	198
5.4.2.	Análisis lineal	202
5.4.3.	Análisis lineal seguido de redistribución limitada	203
5.4.4.	Análisis plástico	204
5.4.5.	Efectos de segundo orden.....	204
5.5.	<i>Placas</i>	204
5.5.1.	Alcance.....	204
5.5.2.	Tipos de análisis	204
5.5.3.	Análisis lineal	205
5.5.4.	Análisis lineal seguido de redistribución limitada de momentos flectores.....	205
5.5.5.	Análisis plástico	206

5.5.6.	Análisis no lineal	207
5.6.	<i>Vigas de gran canto y muros</i>	207
5.6.1.	Métodos de análisis	207
5.6.2.	Análisis lineal	207
5.6.3.	Análisis mediante campos de tensiones estáticamente admisibles	207
5.6.4.	Análisis no lineal	208
5.7.	<i>Láminas y láminas plegadas</i>	208
5.8.	<i>Efectos estructurales de las propiedades diferidas del hormigón</i>	208
5.8.1.	Generalidades	208
5.8.2.	Modelos estructurales.....	209
5.8.3.	Aplicación del modelo lineal.....	210
5.8.4.	Aproximaciones prácticas	213

6. Comprobación de los estados límites últimos

6.1.	<i>Generalidades</i>	217
6.1.1.	Introducción	217
6.1.2.	Elementos con armaduras adheridas únicamente.....	218
6.1.3.	Elementos con armaduras no adheridas	218
6.1.4.	Combinación de campos de tensión	218
6.1.5.	Armadura y anclaje	219
6.2.	<i>Resistencias del material</i>	220
6.2.1.	Generalidades	220
6.2.2.	Hormigón en compresión	220
6.2.3.	Hormigón en tracción.....	224
6.2.4.	Acero en tracción	224
6.2.5.	Acero en compresión.....	225
6.3.	<i>Elementos lineales</i>	225
6.3.1.	Supuestos básicos	225
6.3.2.	Solicitaciones axiales	226
6.3.3.	Cortante y solicitaciones axiales	228
6.3.4.	Cortante longitudinal en secciones T y doble T.....	244
6.3.5.	Torsión.....	246
6.4.	<i>Placas</i>	254
6.4.1.	Flexión y torsión.....	254
6.4.2.	Esfuerzo cortante transversal distribuido a lo ancho de la placa.....	255
6.4.3.	Cargas concentradas en uniones placas/placa-soporte	260
6.5.	<i>Elementos de placa</i>	271
6.5.1.	Objeto	271
6.5.2.	Fuerzas internas en secciones de pared delgada.....	271
6.5.3.	Placas sometidas a cargas en su plano.....	272
6.5.4.	Placas sometidas a momentos y cargas en su plano	273

6.6.	<i>Estado límite último de pandeo</i>	275
6.6.1.	Definiciones	275
6.6.2.	Requisitos	277
6.6.3.	Criterios de cálculo.....	279
6.7.	<i>Estado límite último de fatiga</i>	292
6.7.1.	Objeto	292
6.7.2.	Análisis de tensiones en elementos armados y pretensados sometidos a fatiga.....	293
6.7.3.	Comprobación por el procedimiento simplificado.....	294
6.7.4.	Comprobación mediante nivel de carga único	295
6.7.5.	Comprobación mediante el espectro de niveles de carga.....	299
6.7.6.	Cálculo a cortante.....	300
6.7.7.	Aumento de las deformaciones debido a la fatiga.....	300
6.8.	<i>Vigas de gran canto y regiones de discontinuidad</i>	301
6.8.1.	Objeto y criterios básicos	301
6.8.2.	Ejemplos de aplicación de campos de tensiones admisibles.....	302
6.9.	<i>Comprobación de nudos y anclajes</i>	309
6.9.1.	Generalidades	309
6.9.2.	Casos normales de nudos	310
6.9.3.	Tensión de adherencia de cálculo para barras de la armadura pasiva.....	315
6.9.4.	Longitud de anclaje básica	315
6.9.5.	Longitud de anclaje de cálculo.....	316
6.9.6.	Longitud de cálculo del solapo de barras en tracción	320
6.9.7.	Longitud de cálculo del solapo de barras permanentemente comprimidas.....	321
6.9.8.	Longitud de cálculo del solapo de mallas electrosoldadas en tracción ...	321
6.9.9.	Longitud de cálculo del solapo de mallas electrosoldadas en compresión.....	322
6.9.10.	Anclaje de tendones de pretensado	322
6.9.11.	Anclaje de armaduras de pretensado pretesas	322
6.9.12.	Tensiones transversales en la zona de anclaje de tendones pretensados	326
6.10.	<i>Estado límite último de juntas a cortante</i>	332
6.10.1.	Generalidades	332
6.10.2.	Cálculo de juntas a cortante	333

7. Comprobación de los estados límites de servicio

7.1.	<i>Requisitos</i>	337
7.2.	<i>Criterios de proyecto</i>	338
7.3.	<i>Limitación de tensiones</i>	338
7.3.1.	Tensiones de tracción en el hormigón	339

7.3.2.	Tensiones de compresión en el hormigón	340
7.3.3.	Tensiones en el acero.....	341
7.3.4.	Casos en los que no es necesario comprobar las tensiones	341
7.4.	<i>Estado límite de fisuración</i>	341
7.4.1.	Requisitos	341
7.4.2.	Criterios de proyecto relativos a la fisuración.....	343
7.4.3.	Comprobación del ancho de fisura.....	343
7.4.4.	Control de la fisuración sin necesidad de calcular el ancho de fisura.....	351
7.4.5.	Cuantías mínimas	353
7.5.	<i>Estados límites de deformación</i>	355
7.5.1.	Generalidades	355
7.5.2.	Deformaciones debidas a la flexión con o sin fuerza axil.....	356
7.5.3.	Otras deformaciones.....	360
7.6.	<i>Vibraciones</i>	361
7.6.1.	Generalidades	361
7.6.2.	Comportamiento frente a las vibraciones.....	362

8. Durabilidad

8.1.	<i>Generalidades</i>	363
8.1.1.	Estrategia de proyecto	364
8.1.2.	Ejecución	367
8.1.3.	Estrategia de uso y mantenimiento.....	367
8.2.	<i>Mecanismos de deterioro</i>	368
8.3.	<i>Condiciones medioambientales</i>	368
8.3.1.	Tipos de exposición.....	368
8.3.2.	Micro-ambiente	369
8.4.	<i>Criterios de diseño para la durabilidad</i>	370
8.4.1.	Generalidades	370
8.4.2.	Selección de la forma estructural	371
8.4.3.	Componentes del hormigón, espesor del recubrimiento y tendones de pretensado.....	374
8.4.4.	Organización de las armaduras.....	378
8.4.5.	Limitaciones del ancho nominal de fisura.....	379
8.4.6.	Medidas especiales de protección	381
8.4.7.	Requisitos previos relacionados con la ejecución y el mantenimiento	384

9. Disposición de armaduras

9.1.	<i>Anclajes, solapos, despieces</i>	387
9.1.1.	Anclajes.....	388

9.1.2.	Empalmes	393
9.1.3.	Disposición de la armadura longitudinal en la sección transversal.....	400
9.1.4.	Reglas adicionales para barras de alta adherencia de gran diámetro	400
9.1.5.	Reglas adicionales para grupos de barras.....	402
9.1.6.	Reglas para la disposición de armaduras en zonas de introducción de las fuerzas de pretensado	403
9.1.7.	Distancias libres mínimas para armaduras interiores de pretensado	406
9.2.	<i>Disposiciones de armadura en elementos estructurales</i>	407
9.2.1.	Losas.....	407
9.2.2.	Vigas.....	411
9.2.3.	Pilares	415
9.2.4.	Muros de hormigón armado en edificios.....	416
9.2.5.	Vigas de gran canto (vigas pared)	417

10. Limitaciones numéricas

10.1.	<i>Introducción</i>	421
10.2.	<i>Calidad de los materiales</i>	423
10.2.1.	Clases de hormigón	423
10.2.2.	Aceros para armaduras pasivas (aceros de armado).....	423
10.2.3.	Aceros para armaduras activas (aceros de pretensado)	424
10.3.	<i>Dimensiones del hormigón</i>	425
10.3.1.	Anchos de apoyo	425
10.3.2.	Relaciones canto/luz.....	425
10.3.3.	Esbeltez	425
10.3.4.	Dimensiones mínimas	425
10.3.5.	Limitaciones de las tensiones	426
10.4.	<i>Recubrimientos</i>	426
10.5.	<i>Secciones transversales de acero y disposición de armaduras</i>	428

PARTE III. EJECUCIÓN Y MANTENIMIENTO

11. Práctica constructiva

11.1.	<i>Generalidades</i>	437
11.2.	<i>Obra</i>	437
11.2.1.	Generalidades	437
11.2.2.	Dirección de proyecto	438

11.2.3. Dirección de obra	438
11.2.4. Trabajos preparatorios de obra	439
11.2.5. Inspecciones	439
<i>11.3. Encofrados, cimbras y puntales</i>	439
11.3.1. Requisitos básicos	439
11.3.2. Proyecto.....	440
11.3.3. Montaje.....	441
11.3.4. Reutilización del material.....	441
<i>11.4. Armaduras</i>	441
11.4.1. Transporte y almacenamiento	441
11.4.2. Identificación.....	442
11.4.3. Corte y doblado	442
11.4.4. Soldadura.....	442
11.4.5. Uniones.....	442
11.4.6. Montaje.....	442
11.4.7. Colocación.....	442
<i>11.5. Tendones</i>	443
11.5.1. Acero de pretensar (transporte y almacenamiento).....	443
11.5.2. Vainas (conductos)	443
11.5.3. Anclajes y acopladores.....	443
11.5.4. Fabricación de los tendones	443
11.5.5. Protección temporal de los tendones.....	445
11.5.6. Tendones no adherentes.....	445
11.5.7. Tendones exteriores.....	445
<i>11.6. Hormigón</i>	445
11.6.1. Generalidades	445
11.6.2. Medidas antes del hormigonado.....	445
11.6.3. Programa de hormigonado	446
11.6.4. Medidas después del hormigonado	446
<i>11.7. Tesado de los tendones</i>	446
11.7.1. Generalidades	446
11.7.2. Instrucciones a la obra.....	446
11.7.3. Operaciones de tesado	447
11.7.4. Protección temporal después del tesado.....	448
<i>11.8. Inyección de los tendones</i>	448
11.8.1. Generalidades	448
11.8.2. Lechada de cemento	449
11.8.3. Instrucciones a la obra.....	449
11.8.4. Operaciones de inyección.....	450
11.8.5. Sellado	451
11.8.6. Otras protecciones	451
<i>11.9. Descimbrado</i>	451
11.9.1. Generalidades	451
11.9.2. Edad mínima para el descimbrado	452

12. Garantía de calidad y control de calidad

12.1. <i>Garantía de calidad</i>	453
12.1.1. Exigencias de garantía de calidad	453
12.1.2. Plan de garantía de calidad.....	453
12.2. <i>Control de calidad</i>	455
12.2.1. Clasificación de los procedimientos de control.....	455
12.2.2. Sistemas de control.....	456
12.2.3. Control de la planificación y del proyecto	459
12.2.4. Control de materiales y componentes estructurales	460
12.2.5. Control de la ejecución.....	463
12.2.6. Control de la estructura terminada	465

13. Mantenimiento

13.1. <i>Generalidades</i>	467
13.2. <i>Inspección</i>	467
13.3. <i>Reparación</i>	468

PARTE IV. CÁLCULO PARA TECNOLOGÍAS PARTICULARES

14. Elementos y estructuras prefabricadas de hormigón

14.1. <i>Bases de cálculo</i>	469
14.1.1. Generalidades	469
14.1.2. Disposición estructural.....	470
14.1.3. Cálculo y diseño	471
14.1.4. Situaciones transitorias.....	472
14.1.5. Tolerancias.....	473
14.2. <i>Elementos</i>	473
14.2.1. Consideraciones generales de cálculo	473
14.2.2. Ejecución.....	474
14.2.3. Detalles de armado	475
14.2.4. Piezas compuestas	475
14.2.5. Detalles constructivos	476
14.3. <i>Juntas</i>	480
14.3.1. Generalidades	480
14.3.2. Juntas a compresión	481
14.3.3. Juntas o uniones de cortante.....	481
14.3.4. Juntas de flexión y tracción.....	484

14.3.5. Tirantes	484
14.4. <i>Sistemas de forjados</i>	485
14.4.1. Generalidades	485
14.4.2. Criterios específicos de proyecto	488
14.5. <i>Sistemas de pantallas</i>	491
14.5.1. Generalidades	491
14.5.2. Análisis estructural	492
14.6. <i>Sistemas de vigas y pilares</i>	493
14.6.1. Generalidades	493
14.6.2. Análisis estructural	494
14.7. <i>Construcciones por dovelas</i>	494
14.7.1. Juntas	494
14.7.2. Análisis estructural	495

ANEJOS

Anejo A. Notaciones

a.1. <i>Construcción de símbolos</i>	497
a.2. <i>Significado de las letras mayúsculas romanas</i>	499
a.3. <i>Significado de las letras minúsculas romanas</i>	499
a.4. <i>Empleo de letras minúsculas griegas</i>	500
a.5. <i>Símbolos matemáticos y símbolos especiales</i>	500
a.6. <i>Subíndices generales</i>	501
a.7. <i>Subíndices para acciones y solicitudes</i>	502
a.8. <i>Subíndices obtenidos por abreviatura</i>	502

Anejo B. Terminología sobre obras de construcción

Anejo C. Proyecto basado en ensayos

c.1. <i>Alcance</i>	507
c.2. <i>Definición</i>	508
c.3. <i>Objetivos del proyecto basado en ensayos</i>	508

c.4. <i>Requisitos</i>	509
c.5. <i>Planificación</i>	510
c.5.1. Modelo de cálculo - estados límites	510
c.5.2. Información sobre las variables básicas	511
c.5.3. Número de elementos que deben ensayarse	511
c.5.4. Efectos de escala	511
c.5.5. Acciones	512
c.5.6. Fabricación de los elementos objeto de ensayo	512
c.6. <i>Condiciones de ensayo y mediciones</i>	512
c.6.1. Variables básicas y nominales	512
c.6.2. Acciones	513
c.6.3. Comportamiento relativo a deformaciones	513
c.7. <i>Informe de laboratorio</i>	513
c.8. <i>Análisis estadístico de los resultados de los ensayos</i>	514
c.8.1. Estimación de los coeficientes D	514
c.8.2. Correlación ente valores experimentales y teóricos	514
c.8.3. Valor característico	515
c.9. <i>Procedimiento de cálculo</i>	515
c.9.1. Valores de cálculo.....	515
c.9.2. Comprobación	517
<i>Documentos de base</i>	517

Anejo D. Tecnología del hormigón

d.1. <i>Alcance</i>	519
d.2. <i>Documentos de referencia</i>	519
d.3. <i>Definiciones</i>	521
d.4. <i>Materiales componentes</i>	523
d.4.1. Requisitos generales.....	523
d.4.2. Cementos	523
d.4.3. Áridos	525
d.4.4. Agua de amasado	526
d.4.5. Aditivos y adiciones	527
d.5. <i>Clasificación del hormigón</i>	528
d.5.1. Clasificación por resistencia.....	528
d.5.2. Clasificación por densidad	529
d.5.3. Clasificación por durabilidad	529
d.6. <i>Especificación del comportamiento del hormigón</i>	530

d.6.1. Consideraciones generales	530
d.6.2. Requisitos de resistencia	530
d.6.3. Requisitos de durabilidad	531
d.6.4. Requisitos de trabajabilidad del hormigón fresco	537
d.6.5. Estudio de la dosificación	538
d.6.6. Hormigones con propiedades especiales	542
d.7. <i>Comprobación de las propiedades del hormigón</i>	546
d.7.1. Hormigón fresco	546
d.7.2. Hormigón endurecido	547
d.8. <i>Especificación del hormigón</i>	549
d.8.1. Dosificaciones proyectadas (C I)	549
d.8.2. Dosificaciones prescritas (CII)	550
d.9. <i>Dosificación y amasado del hormigón fresco</i>	551
d.9.1. Dosificación	551
d.9.2. Amasado del hormigón	552
d.9.3. Hormigón preparado	552
d.10. <i>Transporte, vertido y compactación del hormigón fresco</i>	554
d.10.1. Transporte	554
d.10.2. Plazo para el vertido	554
d.10.3. Vertido	554
d.10.4. Compactación	554
d.10.5. Juntas de construcción	555
d.11. <i>Hormigones para condiciones especiales de fabricación o vertido</i>	555
d.11.1. Hormigones que contienen una combinación de aditivos	555
d.11.2. Hormigones vertidos bajo el agua	556
d.11.3. Hormigón proyectado	557
d.11.4. Hormigón al vacío	558
d.11.5. Hormigón bombeado	558
d.12. <i>Curado y protección</i>	559
d.12.1. Consideraciones generales	559
d.12.2. Métodos de curado	560
d.12.3. Duración del curado	560
d.12.4. Protección contra la fisuración térmica de la superficie	563
d.12.5. Tratamiento térmico	563
d.13. <i>Hormigonado en tiempo frío o con heladas</i>	564
d.14. <i>Hormigonado a altas temperaturas</i>	565
d.15. <i>Reacondicionamiento del hormigón</i>	566
d.16. <i>Factores especiales relativos a hormigón estructural de áridos ligeros</i>	567
d.16.1. Requisitos para áridos ligeros	567
d.16.2. Estudio de la dosificación del hormigón de áridos ligeros	567

d.16.3. Consistencia del hormigón de áridos ligeros.....	568
d.16.4. Humectación y dosificación de áridos ligeros.....	568
d.16.5. Amasado del hormigón de áridos ligeros	569
d.16.6. Hormigón preparado de áridos ligeros	569
d.16.7. Transporte del hormigón de áridos ligeros	569
d.16.8. Vertido y compactación	570
d.16.9. Curado	570
<i>d.17. Fabricación de hormigón de alta resistencia</i>	<i>571</i>
d.17.1. Principios.....	571
d.17.2. Elección de materiales.....	571
d.17.3. Consistencia del hormigón fresco	572
d.17.4. Composición del hormigón	572
d.17.5. Dosificación y amasado.....	572
d.17.6. Transporte, vertido y compactación	572
d.17.7. Curado	573
<i>d.18. Personal, equipos e instalaciones</i>	<i>573</i>
d.18.1. Requisitos generales	573
d.18.2. Inspección in situ.....	573
d.18.3. Inspección de plantas de hormigón prefabricado y de hormigón preparado	574
d.18.4. Laboratorio de hormigón permanente	574