

Índice de materias

PARTE I. INTRODUCCIÓN

1. Historia del hormigón armado y del hormigón pretensado	3
2. Los fundamentos de la construcción compuesta	7
3. Normas, recomendaciones y bibliografía	12
3.1. Normas y recomendaciones	12
3.2. Bibliografía	13

PARTE II. CONOCIMIENTO DE MATERIALES

4. Los materiales de partida para la fabricación de hormigón.	18
4.1. Cemento	18
4.2. Áridos	20
4.3. Agua de amasado	21
4.4. Adiciones	21
5. La dosificación adecuada del hormigón	24
5.1. Valores límites del contenido en cemento y de la relación agua cemento	25
5.2. Granulometría en los áridos, curvas granulométricas	26
5.3. El fraguado del cemento	29

5.4. Cantidad de agua necesaria para una docilidad adecuada	30
5.5. Influencia de la relación agua/cemento	34
5.6. Compactación del hormigón fresco	38
5.7. Tiempo de endurecimiento y temperatura de endurecimiento	40
5.8. Tratamiento posterior del hormigón	43
5.9. Preparación de un hormigón de las características deseadas	43
6. Características mecánicas del hormigón	50
6.1. Generalidades	50
6.2. Resistencia a la compresión del hormigón	55
6.3. Resistencia a la tracción	59
6.4. Resistencia al cizallamiento y al esfuerzo cortante	62
6.5. Resistencia a la tracción y a la compresión, con sollicitación triaxial	63
6.6. Resistencia a la compresión con superficie de carga parcial	64
6.7. Hormigón sometido a carga permanente	64
6.8. Resistencia a la compresión con sollicitación alterna (Resistencia a la fatiga)	66
6.9. Adherencia entre el acero y el hormigón	67
7. Características reológicas del hormigón	71
7.1. Generalidades	71
7.2. Retracción	72
7.3. Influencia de la temperatura	73
7.4. Deformaciones elásticas	74
7.5. Características de la deformación hasta la rotura	75
7.6. Fluencia	79
7.7. Deformación transversal	81
7.8. Datos para el cálculo previo del valor de la fluencia y de la retracción	81
7.8.1. En la construcción de hormigón armado, según la norma DIN 1045	81
7.8.2. Solución más exacta	83
7.8.3. Propuesta para la norma DIN 4227 (Hormigón pretensado)	88
8. Otras propiedades importantes en la construcción con hormigón armado y con hormigón pretensado.	90
8.1. El peso por unidad de volumen (peso específico)	90
8.2. Comportamiento eléctrico	91
8.3. El comportamiento frente a las influencias químicas	91
8.4. Resistencia al fuego	92
8.5. Resistencia a las heladas	93

8.6. Estanqueidad	94
8.7. Resistencia al desgaste	94
8.8. Aislamiento térmico	94
8.9. Aislamiento acústico	95
9. Aceros para armaduras	96
9.1. Resumen	96
9.1.1. Acero par ahormigón armado	96
9.1.2. Acero para pretensar	97
9.2. Fabricación de aceros para armadura	97
9.3. Resistencia y deformación de los aceros	99
9.3.1. Diagrama tensión-deformación	99
9.3.2. Módulo de elasticidad E_e	99
9.3.3. Límite de proporcionalidad $\sigma_{0,01}$	100
9.3.4. Límite elástico β_R o límite elástico aparente β_{gyz}	100
9.3.5. Resistencia a la tracción β_z	101
9.3.6. Alargamiento de rotura δ_{10}	101
9.3.7. Resistencia y aptitud al doblado	101
9.3.8. Comportamiento con carga alterna	101
9.3.9. Influencia de las temperaturas elevadas en la resistencia	103
9.3.10. Propiedades de adherencia de los aceros para hormigón	104
9.3.11. Clasificación y condiciones de recepción	104
9.3.12. Diagrama simplificado de tensión-deformación de los aceros para hormigón armado	104

PARTE III. CÁLCULO DE LAS ESTRUCTURAS

10. Elementos y tipos de estructura y de hormigón, características en las estructuras de hormigón	106
10.1. Propiedades características de la construcción con hormigón	106
10.2. Elementos estructurales característicos	108
10.3. Elección de la resistencia del hormigón	110
11. El problema del cálculo y dimensionado	111
11.1. El objeto del cálculo y dimensionado	111
11.2. Los fundamentos de la teoría de la seguridad	112
11.2.1. Cálculo y dimensionado	112
11.2.2. El empleo de la teoría de la seguridad	123
11.3. Las bases del dimensionado	128

12. Fundamentos de cálculo de las secciones de hormigón armado sometidos a flexión	130
12.1. Métodos fundamentales.	130
12.2. Comparación de los fundamentos del cálculo en ambos métodos.	131
12.3. Bases de cálculo del método elástico basado en las tensiones admisibles	134
12.4. Características del método de cálculo en rotura pasado en las sollicitaciones admisibles	134
12.5. Particularidades del cálculo a la flexión en la construcción de hormigón pretensado	140
13. Cálculo de secciones con zona de compresión rectangular sometidas a flexión compuesta	142
13.1. Método de cálculo	142
13.1.1. Fuerzas internas	142
13.1.2. Sollicitaciones externas	142
13.1.3. Condiciones de equilibrio	143
13.1.4. Tratamiento de los distintos casos de carga	144
13.2. Deducción de las fórmulas para la sección rectangular solicitada simétricamente	144
13.3. Diagrama de validez general para el dimensionado de secciones rectangulares para flexión compuesta en el método de cálculo en rotura	147
13.3.1. Secciones rectangulares sin armadura de compresión	147
13.3.2. Secciones rectangulares con armadura de compresión	148
13.3.3. Ejemplos de cálculo	150
13.4. Fórmulas para el dimensionado para un esfuerzo de tracción con pequeña excentricidad	151
13.4.1. Generalidades	151
13.4.2. Tracción centrada (tracción simple)	152
13.4.3. Tracción excéntrica ($e = M/N \leq y_e$)	152
13.4.4. Excentricidad biaxial de la fuerza de tracción ($e_x = M_x/N \leq x_e$; $e_y = M_y/N \leq y_e$)	153
13.4.5. Armadura	153
13.4.6. Limitación de la tensión de tracción en el hormigón	153
13.4.7. Ejemplos	153
13.4.8. Dimensionado con tensiones admisibles, según la antigua norma DIN 1045	154
13.5. Tablas para el dimensionado de secciones rectangulares para flexión monoaxial y fuerza normal de gran excentricidad	154
13.5.1. Generalidades	154
13.5.2. Tablas numéricas para el dimensionado según el procedimiento de las sollicitaciones admisibles, con coeficientes	

	que dependen de las dimensiones (nuevo procedimiento k_h sin armadura comprimida)	155
13.5.3.	Ejemplo de cálculo para la aplicación del nuevo procedimiento sin armadura de compresión	159
13.5.4.	Cálculo con armadura de compresión	159
13.5.5.	Ejemplo de cálculo para el empleo del procedimiento k_h con armadura de compresión	161
13.5.6.	Dimensionado con el procedimiento antiguo de las tensiones admisibles (Norma DIN 1045 antigua)	161
13.6.	Dimensionado para esfuerzo de compresión con pequeña excentricidad, sin peligro de pandeo, sin armadura simétrica	163
13.6.1.	Generalidades	163
13.6.2.	Solicitud a compresión axial	163
13.6.3.	Solicitud a compresión excéntrica ($e e < 3$)	164
13.6.4.	Dimensionado de elementos comprimidos según la norma antigua DIN 1045	167
13.6.5.	Caso especial de carga parcial y resistencia a los esfuerzos de tensión cortante	168
	13.6.5.1. Fuerza que se puede resistir con superficie de carga parcial	168
	13.6.5.2. La determinación de los esfuerzos cortantes	169
13.7.	Dimensionado para flexión monoaxial y esfuerzo normal, con libre distribución de la armadura, entre F_e y F_e' para conseguir la cuantía $F_e + F_e'$ mínima	172
13.7.1.	Generalidades	172
13.7.2.	Dimensionado para armadura mínima en el método de cálculo elástico	172
13.7.3.	Curvas para encontrar la armadura más favorable según el nuevo procedimiento de cálculo en rotura	173
14.	Cálculo de las vigas en T	176
14.1.	Anchura eficaz del ala	176
14.2.	Normas para el proyecto	180
14.3.	Procedimiento para el dimensionado de las vigas en T	181
14.4.	Dimensionado despreciando las tensiones de compresión en el nervio	182
14.5.	Dimensionado teniendo en cuenta la colaboración del nervio ($b/b_0 \leq 5$)	184
14.6.	Ejemplo de cálculo	185
14.7.	Dimensionado de los apoyos a nivel de forjado, como vigas en T	187
14.8.	Dimensionado de las vigas en T según el procedimiento anticuado de las tensiones admisibles	187

15. Dimensionado de secciones con zona comprimida de forma cualquiera para la flexión simétrica o esviada y esfuerzo normal	190
15.1. Generalidades	190
15.2. Dimensionado mediante aproximación sucesiva	192
15.3. El diagrama rectangular de tensiones	194
15.4. Ejemplo de cálculo	195
15.5. Dimensionado de secciones rectangulares para flexión inclinada y presión normal, con ayuda de diagramas	198
15.6. Dimensionado según el método elástico	200
15.7. Capacidad de carga de secciones zunchadas	200
15.7.1. Generalidades	200
15.7.2. Dimensionado para compresión axial	200
15.7.3. Compresión excéntrica	202
15.7.4. Cálculo del efecto de zunchado, según el método clásico	202
15.8. Dimensionado de secciones rectangulares para flexión inclinada y fuerza de tracción de reducida excentricidad	203
16. Comprobación de la seguridad en el pandeo	204
16.1. Introducción a la problemática	204
16.1.1. Observación preliminar	204
16.1.2. Conceptos	204
16.1.3. El comportamiento de elementos comprimidos completamente elásticos	205
16.1.4. El comportamiento de elementos esbeltos de hormigón armado sometidos a presión	206
16.1.5. Relación entre la esbeltez y las causas de fallo	208
16.1.6. Resumen	209
16.2. El sistema de seguridad	210
16.3. Determinación de la longitud de pandeo	212
16.3.1. Principio fundamental	212
16.3.2. Medios auxiliares	212
16.3.3. Ejemplos	214
16.4. Procedimiento para la determinación de los momentos adicionales producidos según Teoría de II orden	214
16.4.1. Generalidades	214
16.4.2. Fundamentos generales para el cálculo de la deformabilidad.	215
16.4.3. Representación de los resultados	218
16.4.4. El cálculo de la desviación de la barra	222
16.5. Efecto de la fluencia	224
16.6. Comprobación simplificada de la seguridad en el pandeo según la norma DIN 1045	224

16.6.1. Campo libre de comprobación	225
16.6.2. Comprobación simplificada con los elementos comprimidos gruesos	226
16.6.3. Comprobación simplificada del pandeo con mayor esbeltez	227
16.7. Pandeo según dos direcciones	228
16.8. La comprobación de la seguridad en el pandeo, según el procedimiento de la antigua norma DIN 1045	230
17. Comprobación de valores de sollicitaciones admisibles, según los procedimientos de la nueva y la antigua norma DIN 1045, con sollicitación N y M	232
18. Dimensionado para resistir los esfuerzos transversales	237
18.1. El concepto de sollicitación de cortadura y las causas de rotura en la zona de fuerzas transversales de vigas esbeltas	237
18.2. Las tensiones cortantes en el Estado I (hormigón sin fisurar) bajo carga de uso	242
18.2.1. Deducción de la tensión cortante	242
18.2.2. Tensiones principales y línea de tensión en el Estado I	244
18.3. La determinación de las tensiones cortantes en el Estado II (hormigón fisurado)	245
18.3.1. El valor del cálculo de la tensión cortante	245
18.3.2. Reducción de la fuerza transversal con altura variable de la viga	247
18.4. La estructura análoga	250
18.4.1. Tipos de armadura a esfuerzo cortante	250
18.4.2. Deducción de una estructura análoga general	253
18.4.3. El grado de cobertura del esfuerzo cortante	254
18.4.4. Desplazamiento del diagrama de momentos	255
18.5. Casos especiales de la acción de estructura análoga	258
18.5.1. Casos especiales de las cargas o apoyos, directos y suspendidos	258
18.5.2. Caso especial de cargas aisladas cercanas a los apoyos	259
18.6. Resumen de los fundamentos para el dimensionado de la armadura a esfuerzo cortante	260
18.6.1. El valor de cálculo de la fuerza transversal	260
18.6.2. El valor de cálculo de la tensión cortante	261
18.6.2.1. Flexión simple y compuesta siempre que el eje neutro se halle situado dentro de la sección	261
18.6.2.2. Conflexión compuesta, cuando el eje neutro está fuera de la sección	261
18.6.3. Valores límite para el valor de cálculo de la tensión cortante. Clasificación en zonas 1 a 3	261

18.6.4.	Fórmulas para el dimensionado de la armadura a esfuerzo cortante	264
18.6.5.	Dimensionado en la zona 1 de tensiones cortantes	265
18.6.6.	Dimensionado en la zona 2 de tensiones cortantes	266
18.6.7.	Dimensionado en la zona 3 de tensiones cortantes	267
18.6.8.	Comparación de los valores de cálculo admisible de la tensión cortante con los valores límite que deducen al fallo	267
18.7.	Seguridad a esfuerzo cortante según la norma DIN 1045 antigua	268
18.8.	Casos especiales de la sollicitación por cortadura	268
18.8.1.	El caso especial de las ménsulas	268
18.8.2.	El peligro del punzonamiento en las placas	270
19.	Sollicitación a torsión	274
19.1.	Casos en que hay que tener en cuenta la torsión	274
19.2.	Determinación de las tensiones cortantes debidas a la torsión	276
19.2.1.	Fundamentos	276
19.2.2.	Determinación del momento de torsión	277
19.2.3.	Determinación de la tensión cortante de torsión, según la teoría de la elasticidad	277
19.3.	Limitación de las tensiones cortantes para M_T y para $M_T + Q$	280
19.4.	El dimensionado de la armadura de torsión	280
19.4.1.	Generalidades	280
19.4.2.	Cobertura del momento de torsión mediante estribos y barras longitudinales	282
19.4.3.	Cobertura del momento de torsión mediante espirales	284
19.4.4.	Comprobación de la cobertura del esfuerzo cortante para la fuerza transversal y la torsión	284
19.5.	Crítica del dimensionado con flexión y torsión simultáneas	285
20.	Limitación de la flecha	286
20.1.	Causas de los daños y soluciones para evitarlo	286
20.2.	El cálculo de la flecha	288
20.3.	Comprobación simplificada mediante la limitación de la esbeltez a flexión	289
21.	Limitación de la formación de fisuras	292
21.1.	Necesidad de la limitación de la formación de fisuras	292
21.2.	Las fisuras se han de evitar en lo posible	293
21.3.	Consideraciones teóricas para la determinación de la anchura	293
21.3.1.	Influencia del orden de aparición de las fisuras	293
21.3.2.	Cálculo de la distancia entre fisuras	295
21.3.3.	Cálculo de la anchura de la fisura	298

21.4. Conversión de la fórmula de determinación de la anchura de fisura según la norma DIN 1045, para su uso práctico	300
21.5. Comprobación de la limitación de la anchura de fisura, según la norma DIN 1045	302
21.5.1. ¿En qué casos se pide la comprobación?	302
21.5.2. Comprobación de la limitación de la anchura de fisura	303
21.6. Fisuras en la zona de fuerzas transversales	306
21.7. Fisuras en las juntas de hormigonado en los elementos constructivos con armadura reducida	306
22. Hormigón en masa	310
22.1. Generalidades	310
22.2. Esfuerzo de compresión con pequeña excentricidad sin peligro de pandeo	310
22.3. Influencia de la esbeltez	314
22.4. Flexión simple	314
22.5. Dimensionado mediante el cálculo elástico (n constante)	315
 PARTE IV. DIMENSIONADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN PRETENSADO	
23. Hormigón pretensado	318
23.1. Generalidades y definición	318
23.1.1. ¿Qué es el hormigón pretensado?	318
23.1.2. Designación de las partes de la sección	320
23.1.3. Símbolos adicionales para el cálculo	321
23.1.4. Grado de pretensado	321
23.1.5. Formas de conseguir el esfuerzo de pretensado	323
23.1.6. Tensado y formación de la adherencia	324
23.2. Cuáles son las ventajas que ofrece el pretensado	325
23.2.1. Empleo de aceros de alta resistencia	325
23.2.2. Disminución de las tensiones de tracción	325
23.2.3. Reducción de las dimensiones de la sección	326
23.2.4. Reducción de la flecha	326
23.2.5. Cambio en las sollicitaciones que se producen bajo la carga de uso	327
23.2.6. Modo de resistir los estados de tensión muy variables o desconocidos	328
23.2.7. Desarrollo de nuevos procedimientos de construcción	328
23.3. Materiales utilizados en el hormigón pretensado	328
23.4. Fundamentos del dimensionado del hormigón pretensado	328

23.4.1.	Comparación de las propiedades resistentes del hormigón armado y del hormigón pretensado	329
23.4.2.	Las comprobaciones exigidas para el dimensionado	332
23.4.2.1.	Generalidades	332
23.4.2.2.	Comprobación de las tensiones bajo carga de uso	333
23.4.2.3.	Comprobación de la limitación de la formación de fisuras	335
23.4.2.4.	Comprobación de la flecha	336
23.4.2.5.	Comprobación de la seguridad contra la rotura por flexión	336
23.4.2.6.	Dimensionado para esfuerzo cortante y torsión	336
23.4.2.7.	Comprobación de las tensiones de adherencia	337
23.5.	Comprobación de la tensión bajo carga de uso	337
23.5.1.	Generalidades	337
23.5.2.	Cálculo de las sollicitaciones con pretensado sin adherencia y deducción de las fórmulas válidas para tener en cuenta la fluencia	338
23.5.2.1.	Deformaciones para la fuerza $Z = 1$	338
23.5.2.2.	El coeficiente de rigidez α	339
23.5.2.3.	Deformaciones correspondientes a los distintos casos de carga	339
23.5.2.4.	Tensiones en la armadura de tensión	339
23.5.2.5.	Importancia de la fluencia y la retracción	340
23.5.2.5.1.	Ecuaciones de Dischinger para la fluencia	340
23.5.2.5.2.	Límites de la utilización de la solución de Dischinger	342
23.5.2.5.3.	Propuesta de Trost	343
23.5.2.5.4.	Propuesta de Rüsçh y Jungwirth	344
23.5.2.5.5.	Resumen de las fórmulas válidas para tener en cuenta la fluencia y la retracción	348
23.5.2.5.6.	Casos especiales de deformación obligada ejercida por estribos rígidos	350
23.5.2.6.	Resumen de las fórmulas válidas para las sollicitaciones presentes en las estructuras	350
23.5.3.	Pretensado sin adherencias, con apoyo exterior estáticamente indeterminado	352
23.5.3.1.	Generalidades	352
23.5.3.2.	El sistema fundamental estáticamente determinado	352
23.5.3.3.	Desplazamiento para los casos de sollicitación aislados	354
23.5.3.4.	Fuerzas que actúan en la armadura de tracción	355

23.5.3.5. Fórmulas válidas para la sollicitación de la estructura	355
23.5.4. Pretensado con adherencia	355
23.5.4.1. Generalidades	355
23.5.4.2. Magnitudes ideales de la sección	355
23.5.4.3. El coeficiente de rigidez α	357
23.5.4.4. La influencia del pretensado	359
23.5.4.5. Influencia de las cargas externas (q, p, d)	360
23.5.4.6. La influencia de la fluencia y de la retracción	360
23.5.5. Pretensado con adherencia posterior (postensado)	366
23.5.6. Caso especial de las secciones completadas a posteriori	367
23.5.7. Las tensiones admisibles	368
23.6. Comprobación con carga de rotura de cálculo, para sollicitación de flexión, flexión con esfuerzo longitudinal y para esfuerzo longitudinal	368
23.6.1. Cómo tener en cuenta el pretensado	368
23.6.2. El coeficiente de seguridad	370
23.6.3. Sollicitaciones que hay que tener en cuenta en la comprobación	374
23.6.4. Valores de cálculo de la resistencia del hormigón y del acero	375
23.6.5. Influencia de la fuerza transversal en el dimensionado a flexión.	376
23.6.6. Resumen de las reglas válidas para la comprobación de la seguridad contra la rotura	379
23.6.7. Ejecución práctica del dimensionado	380
23.6.7.1. Diagrama de dimensionado para secciones rectangulares	380
23.6.7.2. Secciones con armadura de tracción con zona comprimida no rectangular	380
23.6.7.3. Vigas en T y secciones en cajón	381
23.6.7.4. Cálculo con armadura de compresión	381
23.6.7.5. Elementos comprimidos pretensados	382
23.6.7.6. Pretensado sin adherencia	382
23.7. Dimensionado para esfuerzo transversal y torsión	383
23.7.1. Generalidades	383
23.7.2. Subdivisión en zonas	384
23.7.3. Determinación de las tensiones principales en el Estado I	385
23.7.3.1. Generalidades.	385
23.7.3.2. Fórmula general para las tensiones cortantes producidas por la fuerza transversal	385
23.7.3.3. Procedimiento simplificado en caso de fuerza transversal reducida	388
23.7.3.5. Medios auxiliares para el cálculo de las tensiones principales	389

23.7.4.	Determinación de los valores de cálculo τ_0 de la tensión cortante	391
23.7.4.1.	Bajo la acción de la fuerza transversal	391
23.7.4.2.	Solicitación de torsión	392
23.7.5.	Casos de carga de cálculo	392
23.7.6.	Límites de tensión válidos para el estado de la carga de uso	392
23.7.7.	Límite de la tensión que son válidos para el estado de la carga de uso de cálculo	393
23.7.8.	El dimensionado de la armadura a esfuerzo cortante en el estado de carga de rotura calculada	394
23.7.8.1.	Fundamentos	394
23.7.8.2.	Dimensionado de la armadura a esfuerzo cortante para esfuerzo transversal	395
23.8.	Comprobación de la limitación de la formación de fisuras	396
23.8.1.	Limitación de las tensiones de tracción	396
23.8.2.	Absorción de las tensiones de tracción del hormigón que aparecen en el Estado I	397
23.8.2.1.	Pretensado con adherencia	397
23.8.2.2.	Pretensado sin adherencia	398
23.8.2.3.	Pretensado con adherencia posterior	398
23.8.3.	Armadura mínima prescrita	399
23.8.4.	Limitación del diámetro de barra	400
23.9.	Comprobación de las tensiones de adherencia	400
23.9.1.	Generalidades	400
23.9.2.	Ejemplos para el cálculo de las tensiones de adherencia que se producen con la carga de rotura de cálculo en el Estado de una sollicitación	401
23.10.	Efecto del tensado aplicado contra el hormigón fraguado, sobre la fuerza del elemento tensor	404
23.10.1.	Generalidades.	404
23.10.2.	Influencia del rozamiento sobre la fuerza del elemento tensor	405
23.10.3.	Magnitud del ángulo de desvío γ	406
23.10.4.	Magnitud del coeficiente de rozamiento μ	407
23.10.5.	El proceso de pretensado	408
23.11.	Procedimiento a emplear en el anteproyecto para determinar las dimensiones de la sección	411
Índice alfabético		415