

Indice

Notación, XVII

Bibliografía de mayor importancia, XXIII

1. INTRODUCCION, 1

2. HORMIGON, 3

2.1. Cemento, 4

2.1.1. Cementos normales según DIN 1164, 4

2.1.2. Elección del cemento, 5

2.1.3. Cemento no normalizado, 5

2.2. Agregados inertes, 5

2.2.1. División de los agregados, 5

2.2.2. Dosificación de los agregados, 6

2.3. Agua de amasado, 7

2.4. Aditivos al hormigón, 7

2.5. Hormigón fresco, 8

2.5.1. Composición del hormigón, 8

2.5.1.1. Contenido de cemento, peso del cemento, 8

2.5.1.2. Contenido de agua, cantidad de agua, 8

2.5.1.3. Contenido de material fino, 8

2.5.2. Propiedades del hormigón fresco, 8

2.6. Factores que influyen en el endurecimiento del hormigón, 9

2.6.1. Tipo de cemento, 10

2.6.2. Temperatura y grado de madurez, 10

2.6.3. Curado al vapor, 11

2.6.4. Recompactado, 11

2.6.5. Curado, 11

2.7. Plazo de desencofrado, 11

2.8. Resistencia del hormigón endurecido, 12

2.8.1. Resistencia a la compresión, 12

2.8.1.1. Probetas y método de ensayo, 12

2.8.1.2. Resistencia característica f_{wN} según DIN 1045, 13

2.8.1.3. Ensayos de urgencia del hormigón, 14

2.8.1.4. Ensayos acelerados, 14

2.8.1.5. Resistencia a la compresión para cargas de larga duración, 14

2.8.1.6. Resistencia a la compresión para cargas de fatiga u oscilantes, 14

2.8.1.7. Resistencia a compresión para temperaturas muy altas y muy bajas, 14

2.8.1.8. Resistencia a la compresión en la estructura, 14

2.8.2. Resistencia a la tracción, 15

- 2.8.2.1. Resistencia axial a la tracción, 15
 - 2.8.2.2. Resistencia a la tracción por compresión, 15
 - 2.8.2.3. Tracción por flexión (módulo de rotura), 16
 - 2.8.2.4. Valores numéricos de las resistencias a la tracción, 17
 - 2.8.3. Resistencias para solicitaciones en más de una dirección, 17
 - 2.8.4. Resistencias al corte, punzonado y torsión, 18
 - 2.9. Deformación del hormigón, 19
 - 2.9.1. Deformaciones elásticas, 19
 - 2.9.1.1. Módulo de elasticidad del hormigón, 19
 - 2.9.1.2. Deformación térmica, 20
 - 2.9.1.3. Deformación y módulo de elasticidad transversales, 20
 - 2.9.2. Deformaciones plásticas, independientes del tiempo, 21
 - 2.9.3. Deformaciones en función del tiempo, 22
 - 2.9.3.1. Tipos y causas, 22
 - 2.9.3.2. Desarrollo y dependencia de la contracción de fraguado, 24
 - 2.9.3.3. Desarrollo y factores que afectan la fluencia, 25
 - 2.9.3.4. Restricciones a la contracción de fraguado y a la fluencia, 27
 - 2.9.3.5. Efectos de la fluencia y la contracción de fraguado sobre las estructuras, 28
 - 2.9.3.6. Expresiones para el cálculo de la contracción de fraguado y la fluencia según DIN 1045, 29
 - 2.9.3.7. Expresiones para el cálculo de la contracción de fraguado y de la fluencia según DIN 4227, 31
 - 2.10. Propiedades físicas del hormigón desde el punto de vista constructivo, 34
 - 2.10.1. Durabilidad del hormigón, 34
 - 2.10.2. Conductibilidad térmica, 35
3. ACERO PARA HORMIGON, 36
- 3.1. Clases y grupos de aceros para hormigón, 36
 - 3.2. Propiedades de los aceros para hormigón, 37
 - 3.2.1. Resistencias, 37
 - 3.2.1.1. Resistencia a la tracción, 37
 - 3.2.1.2. Resistencia a la fatiga, 37
 - 3.2.2. Características de la deformación, 39
 - 3.3. Influencia de la temperatura sobre las propiedades de los aceros para hormigón, 41
 - 3.4. Aptitud para la soldadura de los aceros para hormigón, 42
4. EL MATERIAL COMBINADO "HORMIGON ARMADO", 44
- 4.1. Comportamiento conjunto del acero con el hormigón, 44
 - 4.1.1. La adherencia en la barra traccionada de hormigón armado, 44
 - 4.1.2. La adherencia en vigas de hormigón armado, 47
 - 4.1.3. Orígenes de las tensiones de adherencia en las estructuras portantes, 48
 - 4.2. Forma de actuar de la adherencia, 48
 - 4.2.1. Tipos del efecto de adherencia, 48
 - 4.2.1.1. Adherencia por contacto, 48
 - 4.2.1.2. Adherencia por rozamiento, 48
 - 4.2.1.3. Adherencia por corte, 50
 - 4.2.2. Ley de la deformación por adherencia, 52
 - 4.2.2.1. Descripción cualitativa de la deformación por adherencia, 52
 - 4.2.2.2. Probetas para el ensayo de arrancamiento, 53
 - 4.2.3. Resistencia a la adherencia, 54
 - 4.2.3.1. Influencia de la calidad del hormigón sobre la resistencia a la adherencia, 54
 - 4.2.3.2. Influencia del perfilado de la superficie y del diámetro de las barras, 55
 - 4.2.3.3. Influencia de la posición de la barra, al hormigonar, 55
 - 4.3. Leyes que rigen la adherencia en los elementos de anclaje, 56
 - 4.3.1. Ensayos de arrancamiento con ganchos, 56
 - 4.3.2. Ensayos de arrancamiento en barras con barras transversales soldadas, 58
 - 4.4. Valores numéricos de la adherencia para el cálculo, 58
 - 4.4.1. Generalidades, 58
 - 4.4.2. Verificación de la adherencia según DIN 1045, 58
5. COMPORTAMIENTO BAJO CARGA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO, 60
- 5.1. Vigas simplemente apoyadas de hormigón armado solicitadas por flexión y corte, 60
 - 5.1.1. Estados y comportamiento bajo cargas, 60

- 5.1.1.1. Estados I y II, 60
- 5.1.1.2. Solicitaciones del acero y hormigón, 65
- 5.1.1.3. Rigidez y deformación a la flexión, 65
- 5.1.2. Comportamiento para flexión pura, 66
 - 5.1.2.1. Capacidad de carga y capacidad útil, 66
 - 5.1.2.2. Tipos de rotura por flexión, 67
- 5.1.3. Comportamiento para flexión y corte, 67
 - 5.1.3.1. Estado I, 67
 - 5.1.3.2. Estado II, 67
 - 5.1.3.3. Formas de rotura por corte, 71
- 5.2. Vigas continuas de hormigón armado, 71
- 5.3. Barras y vigas solicitadas por torsión, 72
 - 5.3.1. Torsión pura, 72
 - 5.3.2. Torsión con flexión y corte, 74
- 5.4. Columnas y otros elementos comprimidos, 74
- 5.5. Losas (placas) de hormigón armado, 75
 - 5.5.1. Losas de hormigón armado, armadas en una dirección, 75
 - 5.5.2. Losas armadas en dos direcciones, 76
 - 5.5.3. Losas de hormigón armado apoyadas en puntos, 77
- 5.6. Láminas y vigas de gran altura (vigas-pared), 77
- 5.7. Estructuras plegadas, 80
- 5.8. Cáscaras (membranas), 82
- 5.9. Comportamiento de estructuras de hormigón armado para solicitaciones especiales, 82
 - 5.9.1. Forma de aplicar las cargas, 82
 - 5.9.2. Influencia de la temperatura, 83
 - 5.9.3. Fuego, incendios, 83
 - 5.9.4. Contracción del hormigón, 85
 - 5.9.5. Fluencia del hormigón, 85
 - 5.9.6. Comportamiento para oscilaciones e impactos, 85
 - 5.9.7. Comportamiento sísmico, 86
- 6. BASES PARA LA VERIFICACION DE LA SEGURIDAD, 87
 - 6.1. Conceptos básicos, 87
 - 6.1.1. Objeto, 87
 - 6.1.2. Solicitaciones, 87
 - 6.1.3. Límites de las posibilidades de uso, estados límites, 88
 - 6.2. Métodos de cálculo para garantizar la seguridad, 88
 - 6.2.1. El procedimiento antiguo sobre la base de tensiones admisibles, 89
 - 6.2.2. Procedimientos basados sobre los estados límites, 89
 - 6.2.3. Procedimiento basado en la teoría de la probabilidad, 89
 - 6.3. Magnitud de los coeficientes de seguridad, 90
 - 6.3.1. Seguridad para la capacidad de carga y estabilidad, 90
 - 6.3.2. Seguridad contra la pérdida de la capacidad de uso, 92
 - 6.4. Dimensionamiento de las estructuras, 92
 - 6.4.1. Conceptos fundamentales para el dimensionado, 92
 - 6.4.2. Proceso del dimensionado, 93
 - 6.4.3. Dimensionamiento para los distintos tipos de esfuerzos característicos en una sección, 93
 - 6.4.4. Influencia sobre los esfuerzos característicos de las relaciones de rigidez de los estados I y II en las estructuras estáticamente indeterminadas, 94
 - 6.4.5. Observaciones relativas a los procedimientos usuales de cálculo, 94
- 7. DIMENSIONADO PARA FLEXION Y ESFUERZO AXIL, 96
 - 7.1. Bases de cálculo, 96
 - 7.1.1. Hipótesis para dimensionar, 96
 - 7.1.2. Valores característicos de las resistencias de los materiales y de los diagramas tensión-deformación, 97
 - 7.1.2.1. Valores característicos del hormigón, 97
 - 7.1.2.2. Valores característicos del acero para hormigón, 100
 - 7.1.3. Tipos de rotura, distribución de las deformaciones y magnitud del coeficiente de seguridad, 100

- 7.1.3.1. Tipos de rotura, 100
- 7.1.3.2. Repartición de las deformaciones específicas y magnitud del coeficiente de seguridad, 101
- 7.1.4. Esfuerzos característicos en las secciones y condiciones de equilibrio, 104
 - 7.1.4.1. Esfuerzos característicos debidos a causas externas, 104
 - 7.1.4.2. Esfuerzos internos en la sección, 105
 - 7.1.4.3. Magnitud y ubicación de la resultante de compresión D_0 en el hormigón, 107
 - 7.1.4.4. Condiciones de equilibrio, 110
- 7.2. Dimensionamiento de secciones con zona comprimida rectangular, 112
 - 7.2.1. Observaciones previas, 112
 - 7.2.2. Dimensionamiento para flexión con esfuerzo axial con grandes excentricidades (eje neutro ubicado muy arriba de la sección), 112
 - 7.2.2.1. Ecuaciones para el cálculo numérico, 112
 - 7.2.2.2. Diagrama de dimensionamiento adimensional (según H. Rüschi) para secciones sin armadura comprimida, 115
 - 7.2.2.3. Utilización del diagrama de cálculo (según H. Rüschi) para secciones con armadura comprimida, 118
 - 7.2.2.4. Tablas de cálculo, con dimensiones, para secciones sin armadura comprimida, 118
 - 7.2.2.5. Empleo de las tablas con dimensiones para secciones con armadura comprimida, 121
 - 7.2.2.6. Deducción de un diagrama de cálculo adimensional para secciones sin armadura comprimida, solicitadas a flexión simple, 124
 - 7.2.2.7. Fórmulas empíricas para dimensionar secciones sin armadura comprimida en flexión simple normal, 126
 - 7.2.3. Cálculo para flexión con esfuerzo axial para excentricidades media y reducida (eje neutro muy bajo o que no corte a la sección), 127
 - 7.2.3.1. Diagramas de cálculo según Morsch-Pucher para armadura asimétrica (el eje neutro corta a la sección muy abajo de la misma), 127
 - 7.2.3.2. Diagrama de cálculo para flexión con esfuerzo axial y armadura simétrica, 133
 - 7.2.3.3. Dimensionado para esfuerzo normal de tracción con pequeña excentricidad, 136
 - 7.2.4. Diagramas generales para el dimensionado de secciones rectangulares (diagramas de interacción), 137
- 7.3. Dimensionado de secciones para zona comprimida del hormigón no rectangular, 139
 - 7.3.1. Introducción, 139
 - 7.3.2. Ancho activo de las vigas-placa, 139
 - 7.3.2.1. Planteo del problema, 139
 - 7.3.2.2. Determinación del ancho activo, 143
 - 7.3.3. Dimensionamiento de las vigas-placa, 145
 - 7.3.3.1. División de los procedimientos de cálculo, 145
 - 7.3.3.2. Dimensionado sin aproximaciones, 146
 - 7.3.3.3. Procedimiento aproximado para secciones compactas con $b/b_0 < 5$, 148
 - 7.3.3.4. Procedimiento aproximado para vigas-placa con alma delgada ($b/b_0 > 5$), 148
 - 7.3.4. Dimensionado para zonas comprimidas del hormigón de forma arbitraria, 151
 - 7.3.4.1. Generalidades, 151
 - 7.3.4.2. Dirección y posición del eje neutro, 152
 - 7.3.4.3. Determinación de los esfuerzos característicos críticos M_u y N_u mediante el procedimiento gráfico de Morsch, 155
 - 7.3.4.4. Verificación de la capacidad de carga suponiendo una distribución constante de las tensiones en la zona comprimida del hormigón, 157
 - 7.3.4.5. Dimensionado de secciones circulares, 160
- 7.4. Cálculo de elementos comprimidos zunchados sin peligro de pandeo, 161
- 7.5. Armadura mínima de tracción en la flexión, 166
- 7.6. Dimensionado de secciones sin armadura, 169
- 8. DIMENSIONADO PARA ESFUERZOS DE CORTE, 171
 - 8.1. Conceptos fundamentales para el dimensionado a los esfuerzos de resbalamiento, 171
 - 8.2. Tensiones principales en elementos portantes homogéneos (Estado I), 172
 - 8.2.1. Determinación de las tensiones de resbalamiento para secciones homogéneas (Secciones de hormigón armado en el Estado I), 172
 - 8.2.2. Determinación de las tensiones principales para secciones homogéneas, 174
 - 8.3. Esfuerzos y tensiones en almas fleuradas (Estado II), 176

- 8.3.1. Analogía clásica del reticulado según E. Mörsch, 176
- 8.3.2. Cálculo de los esfuerzos y tensiones en las barras ideales de los reticulados de Mörsch, 176
 - 8.3.2.1. Reticulado clásico con barras traccionadas inclinadas de un ángulo arbitrario α , 176
 - 8.3.2.2. Reticulados clásicos con barras de alma traccionadas, inclinadas, de 45° o 90°, 180
 - 8.3.2.3. Influencia del nivel de aplicación de las cargas sobre los esfuerzos en un reticulado, 180
- 8.3.3. Valor numérico de la tensión de resbalamiento τ_0 en el alma para el Estado II, 182
- 8.4. Capacidad portante al corte del alma de las vigas, 182
 - 8.4.1. Tipos de rotura por corte, 182
 - 8.4.1.1. Rotura al corte por flexión, 182
 - 8.4.1.2. Rotura de corte por tracción, 183
 - 8.4.1.3. Rotura de las diagonales ideales comprimidas, 183
 - 8.4.1.4. Rotura en el anclaje, 183
 - 8.4.2. Factores que influyen en la capacidad portante al corte, 184
 - 8.4.2.1. Enumeración de las influencias, 184
 - 8.4.2.2. Posición y tipo de carga, 186
 - 8.4.2.3. Forma de aplicar la carga, 188
 - 8.4.2.4. Influencia de la armadura longitudinal, 189
 - 8.4.2.5. Influencia de la forma de la sección y de la cuantía de armadura, 190
 - 8.4.2.6. Influencia de la altura absoluta de la viga, 194
 - 8.4.3. Aplicación de la analogía del reticulado, 194
- 8.5. Dimensionamiento al corte en el alma de las vigas, 195
 - 8.5.1. Fundamentos y conceptos, 195
 - 8.5.2. Dimensionado de la armadura del alma para cobertura total al corte según Mörsch, 196
 - 8.5.3. Dimensionado de la armadura del alma para cobertura al corte disminuida, 197
 - 8.5.3.1. Conceptos básicos, 197
 - 8.5.3.2. Valor τ_{0D} de reducción, 199
 - 8.5.3.3. Cuantía η_S necesaria para la cobertura al corte, 200
 - 8.5.3.4. Armadura mínima al corte en el alma de vigas, 200
 - 8.5.3.5. Reducción adicional de la armadura de corte necesaria en el caso de cargas cercanas a los apoyos o vigas cortas, 201
 - 8.5.3.6. Límite superior de las tensiones de corte τ_0 para evitar la rotura de las diagonales ideales comprimidas, 202
 - 8.5.3.7. Valores límites de τ_0 para losas sin armadura de corte, 203
 - 8.5.4. Dimensionado según DIN 1045, 204
 - 8.5.4.1. Esfuerzo de corte determinante, 204
 - 8.5.4.2. Valor característico τ_0 , 204
 - 8.5.4.3. Zonas para los dimensionados al corte, 204
- 8.6. Dimensionado al corte en casos especiales, 206
 - 8.6.1. Armaduras de unión de cordones, 206
 - 8.6.2. Vigas de hormigón armado de altura variable, 209
 - 8.6.3. Consideración de los esfuerzos axiales en el dimensionado al corte, 212
 - 8.6.3.1. Flexión compuesta cuando el eje neutro corta a la sección, 212
 - 8.6.3.2. Flexión y esfuerzo axial de compresión cuando el eje neutro no corta a la sección, 213
 - 8.6.3.3. Flexión con esfuerzo axial de tracción cuando el eje neutro es exterior a la sección, 213
 - 8.6.3.4. Influencia de los esfuerzos axiales en vigas de cordones pretensados, 214
- 9. DIMENSIONADO A LA TORSION, 215
 - 9.1. Conceptos fundamentales, 215
 - 9.2. Tensiones principales en vigas homogéneas sujetas a torsión pura (Estado I), 216
 - 9.2.1. Torsión de Saint Venant, 216
 - 9.2.2. Observaciones acerca de la torsión con alabeo restringido de la sección, 220
 - 9.3. Esfuerzos y tensiones en elementos estructurales de hormigón armado debidos a torsión pura (Estado II), 223
 - 9.3.1. Analogía del reticulado en torsión pura, 223
 - 9.3.2. Esfuerzos y tensiones en reticulados espaciales tubulares, 225
 - 9.3.2.1. Reticulados espaciales tubulares con barras traccionadas a 45°, 225

- 9.3.2.2. Reticulado espacial con barras longitudinales y estribos trasversales, 226
- 9.3.3. Valor característico de la tensión tangencial de torsión para el Estado II, 229
- 9.4. Comportamiento de estructuras de hormigón armado para torsión pura, 232
 - 9.4.1. Ensayos clásicos a la torsión de E. Morsch efectuados en los años 1904 y 1921, 232
 - 9.4.2. Rotura a la tracción por torsión (agotamiento de la armadura), 232
 - 9.4.3. Rotura a la compresión por torsión (aplastamiento de los puntales comprimidos del hormigón), 232
 - 9.4.4. Roturas en las aristas, 235
 - 9.4.5. Rotura en los anclajes, 235
- 9.5. Dimensionado de estructuras de hormigón armado sujetas a torsión pura, 235
 - 9.5.1. Planteo del dimensionado a torsión pura, 235
 - 9.5.1.1. Cuantías de armadura a la torsión y tensiones, 235
 - 9.5.1.2. Armadura mínima para torsión pura, 236
 - 9.5.1.3. Dimensionado de la armadura, 238
 - 9.5.1.4. Límite superior de la sollicitación por torsión, 238
 - 9.5.2. Dimensionado según DIN 1045 para torsión pura, 238
- 9.6. Dimensionado en el caso de torsión combinada con esfuerzos de corte y/o momentos flexores, 238
 - 9.6.1. Modelos de rotura y resultados experimentales, 238
 - 9.6.2. Cálculo simplificado en el caso de torsión combinada con otras sollicitaciones, 240
 - 9.6.2.1. Armadura mínima, 240
 - 9.6.2.2. Dimensionado de las armaduras, 240
 - 9.6.2.3. Límite superior para $(\tau_0 + \tau_T)$, 241
 - 9.6.3. Dimensionado para torsión y corte según DIN 1045, 241
- 10. DIMENSIONADO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS DE HORMIGÓN ARMADO, 243
 - 10.1. Sobre la estabilidad de los elementos comprimidos, 243
 - 10.1.1. Influencia de las deformaciones, teoría de II orden, 243
 - 10.1.2. Problemas relativos a la estabilidad y a tensiones, 244
 - 10.1.2.1. Capacidad portante para carga axial de compresión, 244
 - 10.1.2.2. Capacidad portante para compresión excéntrica, 244
 - 10.2. Capacidad portante de elementos esbeltos de hormigón armado comprimidos, 245
 - 10.2.1. Planteo del problema de los elementos esbeltos de hormigón armado comprimidos, 245
 - 10.2.2. Factores que influyen en la capacidad portante de elementos comprimidos de hormigón armado, 247
 - 10.2.2.1. Influencia de la distribución de momentos, 248
 - 10.2.2.2. Influencia de las calidades del hormigón y del acero, 249
 - 10.2.2.3. Influencia de la cuantía de armadura, 249
 - 10.2.2.4. Influencia de la deformación lenta para cargas de larga duración, 249
 - 10.3. Verificación de la capacidad portante según la teoría de II orden para elementos comprimidos esbeltos, 251
 - 10.3.1. Introducción, 251
 - 10.3.2. Reflexiones sobre el valor del coeficiente de seguridad, 252
 - 10.3.3. Deducción de las expresiones de la curvatura en secciones rectangulares de hormigón armado, 253
 - 10.3.4. Verificación de la capacidad portante según la teoría de II orden, 260
 - 10.4. Método de la barra sustituta y determinación de las correspondientes luces de pandeo, 263
 - 10.4.1. Método de la barra sustituta, 263
 - 10.4.2. Longitudes de pandeo para el método de la barra sustituta, 264
 - 10.4.2.1. Generalidades, 264
 - 10.4.2.2. Longitud de pandeo de columnas (pilares) en pórticos no desplazables, 264
 - 10.4.2.3. Longitud de pandeo de columnas (pilares) en pórticos con nudos desplazables, 267
 - 10.5. Verificación de la seguridad al pandeo según DIN 1045 y DIN 4224, 271
 - 10.5.1. Resumen del problema, 271
 - 10.5.2. Disposiciones fundamentales, 272
 - 10.5.3. Verificación simplificada de elementos comprimidos de reducida esbeltez ($20 < \lambda < 70$) y sección constante, 273
 - 10.5.4. Verificación al pandeo simplificada para elementos comprimidos esbeltos ($\lambda > 70$), 275
 - 10.5.4.1. Conceptos fundamentales, 275
 - 10.5.4.2. Hipótesis para las relaciones entre $M - N - x$, 275

- 10.5.4.3. Deformaciones supuestas de la barra y momentos correspondientes según la teoría de II orden, 278
- 10.5.4.4. Nomogramas, 278
- 10.5.4.5. Determinación simplificada de las deformaciones por contracción diferida v_k , 278
- 10.5.4.6. Ejemplo de cálculo, 280
- 10.5.5. Recomendaciones sobre disposiciones constructivas, 282
- 10.6. Verificación de la seguridad al pandeo en casos especiales, 283
 - 10.6.1. Seguridad al pandeo para el caso de esfuerzo de compresión con excentricidad en dos direcciones, 283
 - 10.6.1.1. Generalidades, 283
 - 10.6.1.2. Verificación simplificada de la seguridad al pandeo en flexión compuesta oblicua, 283
 - 10.6.2. Verificación de la estabilidad de sistemas aporticados, 286
 - 10.6.3. Verificación de la seguridad al pandeo en columnas zunchadas, 287
- 10.7. Capacidad portante de elementos comprimidos de hormigón simple, 287
 - 10.7.1. Sobre el comportamiento bajo carga de elementos comprimidos de hormigón simple, 287
 - 10.7.2. Dimensionado de elementos comprimidos esbeltos de hormigón simple según DIN 1045, 289

Bibliografía, 291