

# Indice

*Notación especial en las construcciones pretensadas*, XIII

1. BIBLIOGRAFIA Y REGLAMENTOS, 1
  - 1.1. Sobre los comienzos del hormigón pretensado, 1
  - 1.2. Bibliografía más moderna, 1
  - 1.3. Reglamentos, 2
2. IDEAS FUNDAMENTALES Y CONCEPTOS, 3
  - 2.1. Las ideas fundamentales del pretensado, 3
  - 2.2. Ventajas particulares del hormigón pretensado, 6
  - 2.3. Conceptos correspondientes al hormigón pretensado, 7
    - 2.3.1. Medios para aplicar la tensión previa, 7
    - 2.3.2. Tipos de pretensado, 7
    - 2.3.3. Tipos de anclaje de los elementos tensores, 8
    - 2.3.4. Grado de pretensado, 8
    - 2.3.5. Grado de resiliencia del pretensado, 8
    - 2.3.6. Conceptos dependientes de la deformación, 9
    - 2.3.7. Esfuerzos exteriores ejercidos por los elementos tensores sobre el hormigón, 9
3. ANTECEDENTES HISTORICOS, 10
4. MATERIALES Y ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS, 13
  - 4.1. Hormigón, 13
  - 4.2. Aceros para pretensado, 15
    - 4.2.1. Exigencias que deben cumplir los aceros para pretensado, 15
    - 4.2.2. Ensayos exigidos para los aceros para pretensado, 15
    - 4.2.3. Tipos de acero para pretensado, 16
      - 4.2.3.1. Barras de acero de dureza natural, 16
      - 4.2.3.2. Alambres de acero para pretensado, 17
    - 4.2.4. Corrosión de los aceros para pretensado, 20
    - 4.2.5. Fluencia lenta y relajamiento de los aceros para pretensado, 21
    - 4.2.6. Influencia de temperaturas altas y bajas sobre los aceros para pretensado, 24
    - 4.2.7. Influencia de la presión transversal sobre la resistencia de los aceros para pretensados, 26
    - 4.2.8. Tensiones de flexión en elementos tensores, 27
    - 4.2.9. Resistencia a la fatiga de los aceros para pretensado, 28
  - 4.3. Vainas, 30
  - 4.4. Mortero de inyección, 32
5. ADHERENCIA, 33
  - 5.1. Resistencia a la adherencia, 33
  - 5.2. Tensiones de adherencia, 39
6. COMPORTAMIENTO RESISTENTE DE LAS VIGAS DE HORMIGON PRETENSADO, 40
  - 6.1. Comportamiento resistente en el caso de sollicitación por flexión, 40
  - 6.2. Comportamiento resistente para esfuerzo transversal. Sollicitación al corte o resbalamiento, 50

- 6.3. Influencia de los elementos tensores curvos sobre la capacidad portante al corte, 55
- 6.4. Comportamiento portante a la torsión, 57
- 6.5. Comportamiento portante para tracción axil, 58
- 7. ELECCION DEL GRADO DE PRETENSADO, 61
  - 7.1. Definición del grado de pretensado, 61
  - 7.2. Comentarios sobre el grado de pretensado, 62
  - 7.3. Criterios para evaluar el grado de pretensado, 63
    - 7.3.1. Influencia del grado de pretensado sobre las tensiones en el acero, 63
    - 7.3.2. Influencia del grado de pretensado sobre el ancho de las fisuras y las flechas, 65
  - 7.4. Elección del grado de pretensado, 69
  - 7.5. Sobre el estado actual de las prescripciones, 70
- 8. DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON PRETENSADO EN RELACION A LA CORROSION, 71
  - 8.1. Experiencias, 71
  - 8.2. Grado de pretensado y peligro de corrosión, 72
  - 8.3. Reglas para asegurar la durabilidad frente a la corrosión, 72
- 9. RESISTENCIA A LA FATIGA Y RESISTENCIA A LAS CONDICIONES DE SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON PRETENSADO, 74
- 10. ANCLAJES Y EMPALMES DE LOS ACEROS PARA PRETENSADO Y DE LOS ELEMENTOS TENSORES, 77
  - 10.1. Anclaje por adherencia, 77
    - 10.1.1. Tensiones en alambres individuales nervurados, 77
    - 10.1.2. Anclaje de manojos de alambres, 80
    - 10.1.3. Anclajes en abanico, 81
  - 10.2. Anclajes en alambres tensores lisos directamente en el hormigón, mediante curvatura y fricción, 82
  - 10.3. Anclajes en lazo, 84
  - 10.4. Anclajes en roscas y tuercas, 86
  - 10.5. Anclajes con cuñas, 88
  - 10.6. Anclaje con manguitos trefilados y manguitos de presión, 93
  - 10.7. Anclajes mediante cabecitas recalçadas, 94
  - 10.8. Empalmes y acoplamientos de elementos tensores, 95
    - 10.8.1. Manguitos roscados y manguitos de presión, 95
    - 10.8.2. Empalme mediante unión en cuña, 97
    - 10.8.3. Empalmes a rosca, 98
    - 10.8.4. Sobre la resistencia a la fatiga de los anclajes y acoplamientos, 99
  - 10.9. Disposición de los anclajes de los elementos tensores, 100
    - 10.9.1. Anclajes fijos, 100
    - 10.9.2. Anclajes activos, 100
- 11. PROCEDIMIENTOS DE PRETENSADO Y SU ELECCION, 105
- 12. FORMAS Y DISPOSITIVOS PARA PRETENSAR, 108
  - 12.1. Tesado mediante gatos hidráulicos, 108
    - 12.1.1. Generalidades, 108
    - 12.1.2. Ejemplos de prensas hidráulicas, 110
  - 12.2. Sistemas especiales de pretensado, 114
    - 12.2.1. Junta tensora, 114
    - 12.2.2. Tesado trasversal a la dirección del pretensado, 115
    - 12.2.3. Zunchado bajo tensión previa, 116
- 13. ELEMENTOS TENSORES EN VAINAS, FRICCIÓN Y MONTAJE, 117
  - 13.1. Causas de la fricción, 117
  - 13.2. El coeficiente de fricción, 119
  - 13.3. Medidas para reducir la fricción, 121
  - 13.4. Cálculo de las pérdidas de esfuerzos de pretensado debidas a la fricción, 123
  - 13.5. Variación del esfuerzo tensor debido a la fricción, 125
  - 13.6. Montaje de los elementos tensores, 127
- 14. EL PRETENSADO, CALCULO DEL ALARGAMIENTO, REALIZACION DE LA ADHERENCIA POSTERIOR, 130
  - 14.1. Pretensado con adherencia inmediata, 130
  - 14.2. Pretensado con adherencia posterior, 130

- 14.2.1. Preparación, 130
- 14.2.2. Trascuro del tiempo de pretensado, 131
- 14.2.3. Secuencias en la ejecución del pretensado, 131
- 14.3. Procedimiento de tesado, 132
  - 14.3.1. Mediciones a ejecutar durante el tesado, 132
  - 14.3.2. Irregularidades del alargamiento por tesado, 134
- 14.4. Cálculo del alargamiento de tesado, 135
- 14.5. Realización de la adherencia posterior mediante mortero de inyección, 136
- 15. ENUMERACION DE LAS VERIFICACIONES NECESARIAS, 138
  - 15.1. Verificaciones necesarias, 138
  - 15.2. Indicaciones para las hipótesis de cálculo, 140
- 16. ESFUERZOS CARACTERISTICOS EN LA SECCION Y TENSIONES DEBIDOS AL PRETENSADO E INDICACIONES PARA EL TRAZADO DE LOS ELEMENTOS TENSORES, 141
  - 16.1. Efectos del pretensado sobre el hormigón, 141
  - 16.2. Esfuerzos característicos en la sección y tensiones en la viga isostática, 143
    - 16.2.1. Esfuerzos característicos en la sección sobre el hormigón, 143
    - 16.2.2. Determinación de las tensiones debidas a cargas de servicio, 146
    - 16.2.3. Determinación de las tensiones longitudinales  $\sigma_x$  en pretensado en banco, 148
    - 16.2.4. Tensiones debidas a cargas de servicio en el Estado II, 150
  - 16.3. Esfuerzos característicos en las secciones de estructuras pretensadas, apoyadas hiperestáticamente y conclusiones para el trazado de los elementos tensores, 151
    - 16.3.1. Principios básicos sobre sus efectos, 151
    - 16.3.2. Método de cálculo para la determinación de esfuerzos característicos de la sección por coacción debidos al pretensado, 153
    - 16.3.3. Conocimientos básicos relativos a vigas de dos tramos con elemento tensor parabólico, 154
      - 16.3.3.1. Cálculo en el esfuerzo característico M como incógnita, 154
      - 16.3.3.2. Cálculo sobre la base de fuerzas de desvío, 160
      - 16.3.3.3. El elemento tensor se aplica en el extremo de la viga, fuera del eje de gravedad (elemento tensor parabólico), 162
      - 16.3.3.4. Caso particular: elementos tensores rectos en cada tramo, 165
    - 16.3.4. Vigas con más de dos tramos y casos generales, 166
    - 16.3.5. La viga empotrada como base de métodos de compensación de momentos, 170
      - 16.3.5.1. Viga doblemente empotrada, 170
      - 16.3.5.2. Viga empotrada de un solo lado, 171
    - 16.3.6. Aplicación de los métodos de compensación de momentos, 174
- 17. DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS DE PRETENSADO, 177
  - 17.1. Esfuerzos de pretensado necesarios en vigas isostáticas, 177
  - 17.2. Esfuerzo de pretensado necesario para vigas hiperestáticas, 180
  - 17.3. Tensión admisible en el acero para pretensado, al pretensar,  $= \sigma_{2,vo} adm$ , 181
  - 17.4. Pérdidas de pretensado debidas a contracción y fluencia lenta. Fórmulas para la práctica, 181
    - 17.4.1. Observación preliminar, 181
    - 17.4.2. Fórmulas prácticas para determinar las pérdidas en el esfuerzo de pretensado, 181
    - 17.4.3. Influencia de las armaduras de acero para hormigón sobre las pérdidas del esfuerzo de pretensado, 183
    - 17.4.4. Secciones transversales determinantes para el cálculo de las pérdidas del esfuerzo de pretensado, 183
- 18. DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE, 185
  - 18.1. Flexión sin momentos por coacción, 185
  - 18.2. Flexión con momentos por coacción, 188
    - 18.2.1. Estado actual del conocimiento, 188
    - 18.2.2. Criterios actuales de verificación, 189
  - 18.3. Flexión sin adherencia, 190
  - 18.4. Esfuerzo de corte. Resbalamiento, 190
    - 18.4.1. Losas sin armadura para resbalamiento, 191
    - 18.4.2. Viga con armadura para resbalamiento, 192
      - 18.4.2.1. La analogía del reticulado ampliada, 192
      - 18.4.2.2. Dimensionado de la armadura al resbalamiento con valores de reducción  $Q_D$ , 193
      - 18.4.2.3. Efectos de los esfuerzos de corte sobre el cordón traccionado, 196
      - 18.4.2.4. Verificación de las diagonales comprimidas (seguridad contra la rotura de bielas comprimidas en vigas continuas), 198
  - 18.5. Torsión, 200

- 19. DIMENSIONADO PARA LA CAPACIDAD DE SERVICIO, 202
  - 19.1. Limitación de las deformaciones, 202
  - 19.2. Limitación del ancho de las fisuras, 203
    - 19.2.1. Exigencias, 203
    - 19.2.2. Armaduras mínimas, 203
    - 19.2.3. Limitación del ancho de las fisuras, cuando es necesaria armadura para la capacidad portante, 208
- 20. DEFORMACIONES Y REDISTRIBUCION DE ESFUERZOS CARACTERISTICOS, 209
  - 20.1. Deformaciones, 209
  - 20.2. Redistribución de esfuerzos característicos, 210
- 21. DETALLES CONSTRUCTIVOS, 212
- 22. OBSERVACIONES PARA LA EJECUCION Y LA SUPERVISION DE LA OBRA, 215
- 23. FUNDAMENTOS PARA LAS INFLUENCIAS DE LA CONTRACCION Y LA FLUENCIA LENTA, 218
  - 23.1. Determinación de los valores de la contracción y de la fluencia lenta de acuerdo con la DIN 4227, Edic. 1979, 218
  - 23.2. Deformaciones del hormigón bajo tensiones variables en el mismo, 224
    - 23.2.1. Notación, 224
    - 23.2.2. Planteo general, 224
    - 23.2.3. Procedimiento con el valor característico de relajación (coeficiente de envejecimiento) según Trost, Zerna, Bažant, 225
    - 23.2.4. Ecuación de Dischinger ampliada, según Rüsçh, Jungwirth, Kupfer, 227
  - 23.3. Cálculo de la pérdida de tensión en elementos tensores con adherencia, 229
    - 23.3.1. Procedimiento con el coeficiente característico de relajación, 229
    - 23.3.2. Procedimiento de la ecuación de Dischinger ampliada, 231
  - 23.4. Sistema hiperestático de primer grado de hormigón y acero, 231
    - 23.4.1. Procedimiento en el coeficiente de relajación, 231
    - 23.4.2. Procedimiento en la ecuación de Dischinger ampliada, 233
    - 23.4.3. Tres ejemplos para la aplicación de los valores de  $C_g$ ,  $C_r$ , y  $C_s$ , 235
      - 23.4.3.1. Estructura hiperestática homogénea, de hormigón, 235
      - 23.4.3.2. Prisma de hormigón armado, con compresión centrada, 236
      - 23.4.3.3. Pérdida de tensión en un elemento tensor, 237
  - 23.5. Procedimiento con el módulo de elasticidad eficiente, 239
    - 23.5.1. Método de las fuerzas, 239
    - 23.5.2. Método de las deformaciones, 240
    - 23.5.3. Unión de dos vigas prefabricadas, etapas de obra, 241
  - 23.6. Secciones compuestas con secciones de acero, rígidas a la deformación y a la flexión, 246
    - 23.6.1. Diferentes secciones compuestas, 246
    - 23.6.2. Valores ideales de la sección transversal, coeficientes de distribución según el método de las deformaciones, 247
    - 23.6.3. Magnitudes de redistribución debida a fluencia lenta y contracción del hormigón, para estructuras de barras, isostáticas, 249
    - 23.6.4. Método de las fibras de fluencia de Busemann, 252
      - 23.6.4.1. Sección transversal homogénea, como sección concentrada en dos puntos, 252
      - 23.6.4.2. Sección transversal compuesta como sección transversal concentrada en dos puntos, 254
    - 23.6.5. Método de las fuerzas para magnitudes de redistribución, 256
- 24. VERIFICACION DEL ESTADO LIMITE DE LA CAPACIDAD PORTANTE CON EL METODO DE LAS CARGAS, 258
  - 24.1. Observación previa, 258
  - 24.2. Suposiciones e hipótesis, 258
    - 24.2.1. Generalidades, 258
    - 24.2.2. Fundamentos teóricos del método de las cargas portantes, 259
    - 24.2.3. Capacidad de rotación, 261
    - 24.2.4. Deformaciones y limitación de fisuras, 263
    - 24.2.5. Esfuerzos característicos por coacción, 263
  - 24.3. Aplicación del método de las cargas portantes a estructuras de hormigón pretensado, 263
    - 24.3.1. Estructuras formadas por barras (estructuras lineales), 263
    - 24.3.2. Comparación de la verificación de seguridad como hasta ahora y según el método de la carga portante, 266
    - 24.3.3. Estructuras de superficie (placas), 267

*Bibliografía*, 269