

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Capítulo 1: ESTADO DE LA CUESTIÓN.....</b>                                   | <b>29</b> |
| 1.1. Introducción .....   | 29        |
| 1.2. Técnicas experimentales .....  | 33        |
| 1.2.1. Introducción .....   | 33        |
| 1.2.2. Ensayos de “pull-out” .....  | 35        |
| 1.2.3. Ensayos de adherencia con agrietamiento longitudinal de la probeta ..... | 39        |
| 1.2.4. Ensayos con una grieta longitudinal preformada .....                     | 43        |
| 1.2.5. Ensayo de la viga.....   | 45        |
| 1.2.6. Ensayos de adherencia en elementos pretensados.....                      | 45        |
| 1.3. Modelos de adherencia-deslizamiento entre la armadura y el hormigón .      | 49        |
| 1.3.1. Introducción .....   | 49        |
| 1.3.2. Modelos analíticos de adherencia-deslizamiento .....                     | 49        |
| 1.3.3. Fisuración del hormigón en torno a la barra .....                        | 50        |
| 1.3.4. Formulaciones mediante el método de los elementos finitos...             | 60        |
| 1.4. Elementos de hormigón armado solicitados a tracción .....                  | 64        |
| 1.4.1. Introducción .....   | 64        |
| 1.4.2. Distribución de tensiones en un elemento agrietado .....                 | 65        |
| 1.4.3. El proceso de agrietamiento .....  | 65        |
| 1.4.4. Tensorrigidez .....  | 66        |
| 1.4.5. Comentarios .....  | 72        |
| 1.5. Factores que gobiernan la adherencia entre el hormigón y la armadura.      | 73        |
| 1.5.1. Factores dependientes del hormigón .....                                 | 73        |
| 1.5.2. Factores dependientes de la armadura.....                                | 76        |
| 1.5.3. Características de las acciones.....                                     | 79        |
| 1.5.4. Parámetros de diseño estructural .....                                   | 82        |
| 1.5.5. Técnica de fabricación de los elementos estructurales.....               | 84        |
| 1.5.6. Tratamiento superficial de la armadura .....                             | 84        |
| 1.5.7. La temperatura .....   | 85        |
| 1.6. Objetivos de la investigación.....   | 86        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 2: FISURACIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO<br/>BAJO SOLICITACIONES DE TRACCIÓN.....</b> | <b>89</b> |
| 2.1. Introducción .....  | 89        |
| 2.2. Materiales.....   | 90        |
| 2.2.1. Hormigón .....  | 90        |
| 2.2.2. Armadura .....  | 91        |
| 2.3. Probetas .....  | 92        |
| 2.3.1. Geometría y dimensiones de las probetas. ....   | 93        |
| 2.3.1.1. Probetas de control y caracterización.....  | 93        |
| 2.3.1.2. Probetas de hormigón armado.....  | 93        |
| 2.3.2. Fabricación de las probetas .....   | 94        |
| 2.4. Métodos experimentales. ....  | 97        |
| 2.4.1. Equipos de uso general. ....  | 97        |
| 2.4.1.1. Máquina de ensayos .....  | 97        |
| 2.4.1.2. Células de carga.....   | 98        |
| 2.4.1.3. Transductores.....  | 98        |
| 2.4.1.4. Sistema de adquisición de datos.....  | 99        |
| 2.4.1.5. Mordazas hidráulicas.....   | 99        |
| 2.4.2. Dispositivos particulares.....  | 99        |
| 2.4.2.1. Soporte de los captadores inductivos .....  | 99        |
| 2.4.2.2. Suplemento del extensómetro resistivo .....   | 100       |
| 2.4.2.3. Prolongador del extensómetro resistivo .....  | 102       |
| 2.4.3. Descripción de los ensayos.....   | 104       |
| 2.4.3.1. Ensayos de caracterización del material.....  | 104       |
| 2.4.3.2. Ensayo de las probetas de hormigón armado solicitadas<br>a tracción.....                      | 108       |
| 2.5. Resultados y discusión.....   | 113       |
| 2.5.1. Resultados de los ensayos de caracterización .....  | 113       |
| 2.5.2. Resultados de los ensayos de probetas de hormigón armado ..                                     | 114       |
| 2.6. Comparación con las normas y otros autores.....   | 130       |
| 2.7. El efecto del proceso carga-descarga.....   | 132       |
| 2.8. Recapitulación y comentarios finales .....  | 135       |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Capítulo 3: FISURACIÓN DE ELEMENTOS PRETENSADOS DURANTE LA TRANSFERENCIA DE LA FUERZA DE PRETENSADO .....</b> | <b>137</b> |
| 3.1. Introducción .....  | 137        |
| 3.2. Materiales.....   | 138        |
| 3.2.1. Hormigón.....   | 138        |
| 3.2.2. Armadura .....  | 139        |
| 3.3. Probetas.....   | 139        |
| 3.3.1. Geometría y dimensiones de las probetas .....   | 139        |
| 3.3.1.1. Probetas de control y caracterización.....  | 139        |
| 3.3.1.2. Probetas de hormigón pretensado.....  | 140        |
| 3.4. Métodos experimentales .....  | 148        |
| 3.4.1. Equipos de uso general .....  | 148        |
| 3.4.1.1. Máquina de ensayos .....  | 148        |
| 3.4.1.2. Células de carga.....   | 148        |
| 3.4.1.3. Transductores.....  | 149        |
| 3.4.1.4. Sistema de adquisición de datos.....  | 149        |
| 3.4.2. Dispositivos particulares.....  | 149        |
| 3.4.2.1. Soporte de extensómetro resistivo para medir el deslizamiento relativo alambre-hormigón .....           | 150        |
| 3.4.2.2. Suplemento del extensómetro resistivo .....   | 151        |
| 3.4.2.3. Prolongador del extensómetro resistivo .....  | 151        |
| 3.4.3. Descripción de los ensayos.....   | 151        |
| 3.4.3.1. Ensayos de caracterización del material.....  | 151        |
| 3.4.3.2. Ensayos de las probetas de hormigón pretensado .....  | 152        |
| 3.5. Resultados .....  | 157        |
| 3.5.1. Resultados de los ensayos de caracterización .....  | 158        |
| 3.5.2. Resultados de los ensayos de probetas de hormigón pretensado .....  | 158        |
| 3.6. Recapitulación y comentarios finales .....  | 175        |
| <br>   |            |
| <b>Capítulo 4: MODELIZACIÓN NUMÉRICA.....</b>  | <b>177</b> |
| 4.1. Introducción .....  | 177        |
| 4.2. Modelo de cálculo.....  | 178        |
| 4.2.1. Tensiones y deformaciones generalizadas.....  | 178        |
| 4.2.2. Superficie de rotura .....  | 179        |
| 4.2.3. Evolución de la superficie de rotura.....   | 180        |
| 4.2.4. Dilatación.....   | 182        |
| 4.3. Incorporación en un código de elementos finitos.....  | 183        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.4. Aplicación del modelo a los ensayos realizados .....                                 | 185        |
| 4.4.1. Modelización de la geometría de las probetas .....                                 | 185        |
| 4.4.2. Modelización de los materiales .....   | 185        |
| 4.4.3. Modelización de la intercara .....   | 186        |
| 4.4.4. Modelización de la fractura del hormigón .....                                     | 187        |
| 4.4.5. Procedimiento de cálculo.....  | 187        |
| 4.5. Resultados .....   | 187        |
| 4.6. Comentarios finales .....  | 195        |
| <b>Capítulo 5: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO .....</b>                                    | <b>197</b> |
| 5.1. Introducción .....   | 197        |
| 5.2. Conclusiones .....   | 197        |
| 5.2.1. Fisuración de elementos de hormigón armado bajo solici-<br>ciones de tracción..... | 197        |
| 5.2.2. Fisuración longitudinal de elementos de hormigón pretensado.                       | 198        |
| 5.2.3. Modelización numérica .....  | 199        |
| 5.2.4. Discusión de resultados .....  | 200        |
| 5.3. Trabajo futuro .....   | 201        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>  | <b>203</b> |
| <b>Apéndice: SEGUNDO GRUPO DE ENSAYOS DE LAS PROBETAS<br/>DE HORMIGÓN PRETENSADO.....</b> | <b>219</b> |
| A.1. Introducción .....   | 219        |
| A.2. Resultados de los ensayos de caracterización.....                                    | 219        |
| A.3. Resultados de los ensayos de probetas de hormigón pretensado .....                   | 220        |