

---

# INDICE

## 1. Introducción

## PARTE I. BASES TEORICAS

### 2. Mecanismos de transporte en el hormigón

- 2.1. Mecanismos de transporte. Consideraciones básicas . . . . . 5
- 2.2. Estructura de los poros del hormigón . . . . . 6
- 2.3. Interacción entre los poros y el agua . . . . . 7
- 2.4. Mecanismos de transporte en aire húmedo . . . . . 8
- 2.5. Mecanismos de transporte: agua de lluvia y salpicaduras de agua . . . . . 9
- 2.6. Mecanismos de transporte: inmersión . . . . . 10

### 3. Procesos físicos en el hormigón

- 3.1. Fisuración . . . . . 13
  - 3.1.1. *Causas de la fisuración*
  - 3.1.2. *Factores principales*
- 3.2. Hielo y agentes de deshielo . . . . . 25
  - 3.2.1. *Mecanismos de deterioro*
  - 3.2.2. *Factores principales*
- 3.3. Erosión . . . . . 32
  - 3.3.1. *Mecanismos de deterioro*
  - 3.3.2. *Factores principales*

<b>4. Procesos químicos en el hormigón</b>	
4.1. Ataque químico del hormigón . . . . .	35
4.2. Ataque por ácidos . . . . .	36
4.3. Ataque por sulfatos . . . . .	37
4.3.1. <i>Condiciones de exposición</i>	
4.3.2. <i>Permeabilidad del hormigón</i>	
4.3.3. <i>Tipo de cemento</i>	
4.4. Ataque por álcalis . . . . .	40
4.4.1. <i>Reacción álcali - sílice</i>	
4.4.2. <i>Reacción álcali - carbonato</i>	
4.4.3. <i>Susceptibilidad de los áridos</i>	
4.4.4. <i>Contenido en álcalis</i>	
4.4.5. <i>Tipo de cemento</i>	
4.4.6. <i>Condiciones de exposición</i>	
<b>5. Procesos biológicos en el hormigón . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>6. Armaduras</b>	
6.1. Protección del acero en hormigón: situación habitual . . . . .	45
6.2. Mecanismos de corrosión y protección contra la corrosión . . . . .	45
6.2.1. <i>Procesos y efectos</i>	
6.2.2. <i>Carbonatación del hormigón</i>	
6.2.3. <i>Penetración de cloruros en el hormigón</i>	
6.2.4. <i>Despasivación en el área de fisuras atravesada por la armadura</i>	
6.2.5. <i>Corrosión de armaduras</i>	
6.2.6. <i>Corrosión bajo tensión y fragilización por hidrógeno</i>	
6.2.7. <i>Influencia de las fisuras</i>	
6.2.8. <i>Proceso de corrosión en la zona fisurada</i>	
6.2.9. <i>Efecto de la corrosión</i>	
6.3. Factores principales . . . . .	52
6.3.1. <i>Espesor del recubrimiento del hormigón</i>	
6.3.2. <i>Permeabilidad del recubrimiento</i>	
6.3.3. <i>Contenido de cemento</i>	
6.3.4. <i>Tipo de cemento</i>	
6.3.5. <i>Condiciones ambientales</i>	
6.3.6. <i>Conclusiones</i>	
<b>7. Agresividad ambiental</b>	
7.1. Aporte de humedad . . . . .	60
7.2. Presencia de sustancias agresivas en el agua . . . . .	62
7.3. Temperatura . . . . .	62
7.4. Recubrimiento del hormigón . . . . .	63

## PARTE II. RECOMENDACIONES

<b>8. Objeto de las recomendaciones</b> . . . . .	<b>67</b>
<b>9. Clasificación de las condiciones ambientales</b>	
9.1. Definición de las clases de exposición . . . . .	71
9.2. Valoración del ataque químico en el hormigón . . . . .	71
<b>10. Diseño, construcción y mantenimiento</b>	
10.1. Características del proceso constructivo . . . . .	75
10.2. Factor humano . . . . .	78
10.2.1. <i>Influencia de la motivación, información y educación.</i>	
10.3. Diseño y detalles . . . . .	79
10.3.1. <i>Durabilidad en relación con el drenaje</i>	
10.3.2. <i>Grandes fisuras permiten el acceso de sustancias agresivas</i>	
10.3.3. <i>Roturas locales en el hormigón superficial revelan una mala disposición de las armaduras</i>	
10.4. Composición del material . . . . .	86
10.4.1. <i>Un buen hormigón depende de unos buenos componentes</i>	
10.4.2. <i>La durabilidad de la armadura depende de un buen hormigón</i>	
10.5. Ejecución y curado . . . . .	87
10.5.1. <i>Las estructuras bien construidas serán durables</i>	
10.5.2. <i>Un hormigón duradero depende de un buen curado</i>	
10.6. Condiciones de servicio . . . . .	94
10.6.1. <i>La vida en servicio la determinan muchos factores</i>	
10.6.2. <i>Una vida en servicio satisfactoria requiere: inspección, mantenimiento y reparación</i>	
<b>11. Meteorización y decoloración</b>	
11.1. Eflorescencias calizas . . . . .	98
11.2. Cultivos biológicos . . . . .	98
11.3. Polución . . . . .	99
11.3.1. <i>Causas</i>	
11.3.2. <i>Factores que influyen de la propia fachada</i>	
11.4. Medidas de protección . . . . .	106
11.4.1. <i>Medidas generales</i>	
11.4.2. <i>Medidas particulares</i>	
<b>12. Medidas contra mecanismos específicos de deterioro</b>	
12.1. Protección del hormigón . . . . .	109
12.1.1. <i>Protección contra acciones físicas y mecánicas</i>	
12.1.2. <i>Protección contra ataques químicos</i>	
12.1.3. <i>Protección contra ataques biológicos</i>	

12.2. Protección de la armadura . . . . .	119
12.2.1. Proyecto	
12.2.2. Ejecución	
<b>13. Medidas en ambientes específicos</b>	
13.1. Ambientes interiores . . . . .	127
13.2. Ambientes exteriores . . . . .	128
13.3. Hormigón en contacto con suelos . . . . .	129
13.4. Hormigón en ambiente marino . . . . .	129
13.4.1. Naturaleza del ambiente	
13.4.2. Posibles causas de deterioro en las distintas zonas	
13.4.3. Medidas prácticas	
<b>14. Evaluación de estructuras de hormigón</b>	
14.1. Generalidades . . . . .	137
14.2. Lista de chequeo para la investigación de hormigón dañado . . . . .	138
<b>ANEJO. CURADO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN</b>	
A. 1. Requisitos que deben satisfacerse . . . . .	143
A. 2. Bases para la planificación y el control del proceso de endurecimiento . . . . .	144
A. 3. Parámetros de control . . . . .	145
A. 4. Elementos del control de curado . . . . .	145
A. 5. Influencia de la temperatura en el proceso de endurecimiento . . . . .	146
A. 6. Desarrollo del calor en el hormigón . . . . .	147
A. 7. Desarrollo de la resistencia del hormigón . . . . .	150
A. 8. Criterios para conseguir la resistencia frente a la helada . . . . .	151
A. 9. Criterios para la duración del curado . . . . .	152
A. 10. Secado del hormigón fresco . . . . .	153
A. 11. Balance de calor durante el endurecimiento en secciones de hormigón . . . . .	154
A. 12. El coeficiente de transmitancia . . . . .	155
A. 13. Tensiones de origen térmico en el endurecimiento del hormigón . . . . .	156
A. 14. Planificación de la ejecución mediante simulación por ordenador . . . . .	157
A. 15. Control . . . . .	159
A. 16. El sistema TSSP para la planificación de trabajos de hormigonado . . . . .	161