

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Introducción..... | 27 |
| 1.1 | Los cementos y la pasta de cemento | 29 |
| 1.1.1 | Tipos de cemento y la reacción de hidratación | 29 |
| 1.1.2 | Porosidad y procesos de transporte | 31 |
| 1.1.2.1 | Relación a/c y curado | 32 |
| 1.1.2.2 | Porosidad, permeabilidad y percolación | 34 |
| 1.1.3 | Cementos mixtos | 35 |
| 1.1.3.1 | Materiales puzolánicos | 35 |
| 1.1.3.2 | Propiedades de los cementos mixtos..... | 37 |
| 1.2 | Procesos de transporte en el hormigón..... | 38 |
| 1.2.1 | Composición de la disolución intersticial y contenido de agua..... | 39 |
| 1.2.1.1 | Composición de la disolución de los poros..... | 40 |
| 1.2.1.2 | Contenido de agua y procesos de transporte | 40 |
| 1.2.2 | Difusión..... | 42 |
| 1.2.2.1 | Difusión estacionaria..... | 43 |
| 1.2.2.2 | Difusión no estacionaria..... | 43 |
| 1.2.2.3 | Difusión y fijación..... | 44 |
| 1.2.3 | Migración | 45 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.2.3.1 | Transporte de iones en disolución..... | 45 |
| 1.2.3.2 | Transporte de iones en el hormigón | 46 |
| 1.2.3.3 | Resistividad del hormigón..... | 48 |
| 1.3 | Mecanismos de corrosión de armaduras | 48 |
| 1.3.1 | Iniciación y propagación de la corrosión | 49 |
| 1.3.1.1 | Fase de iniciación | 49 |
| 1.3.1.2 | Fase de propagación | 50 |
| 1.3.2 | Velocidad de corrosión..... | 51 |
| 1.3.3 | Consecuencias | 52 |
| 1.4 | Corrosión inducida por carbonatación | 54 |
| 1.4.1 | La carbonatación del hormigón..... | 54 |
| 1.4.1.1 | Penetración de la carbonatación..... | 55 |
| 1.4.1.2 | Factores que influyen en la velocidad de carbonatación | 56 |
| 1.4.2 | Tiempo de iniciación..... | 59 |
| 1.4.3 | Velocidad de corrosión..... | 61 |
| 1.5 | Corrosión inducida por cloruros..... | 62 |
| 1.5.1 | Corrosión por picaduras | 64 |
| 1.5.2 | Iniciación de la Corrosión | 65 |
| 1.5.2.1 | Umbral de cloruros..... | 66 |
| 1.5.2.2 | Penetración de cloruros | 70 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 1.5.2.3 | Coefficiente de difusión aparente | 72 |
| 1.5.3 | Velocidad de corrosión..... | 74 |
| 1.6 | El residuo de catalizador de craqueo catalítico (FCC) como puzolana | 75 |
| 1.6.1 | Propiedades físicas y químicas del FCC | 77 |
| 1.6.2 | Propiedades de morteros y hormigones frescos con FCC | 79 |
| 1.6.3 | Propiedades de morteros y hormigones endurecidos con FCC..... | 83 |
| 1.6.4 | Durabilidad de hormigones y morteros con FCC..... | 91 |
| 2 | Objetivos..... | 95 |
| 3 | Efecto de la carbonatación en la matriz cementante de los morteros mixtos de cemento-FCC..... | 97 |
| 3.1 | Análisis mediante termogravimetría de pastas carbonatadas..... | 98 |
| 3.1.1 | Diseño de la experiencias | 98 |
| 3.1.2 | Análisis de las pastas de cal | 103 |
| 3.1.2.1 | Antes de la carbonatación | 104 |
| 3.1.2.2 | Después de la carbonatación | 110 |
| 3.1.3 | Análisis de las pastas de cemento | 114 |
| 3.1.3.1 | Antes de la carbonatación | 114 |
| 3.1.3.2 | Después de la carbonatación | 120 |
| 3.2 | Análisis mediante difracción de rayos X de pastas carbonatadas..... | 125 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.2.1 | Diseño experimental..... | 125 |
| 3.2.2 | Análisis de pastas de cal..... | 126 |
| 3.2.2.1 | Antes de la carbonatación | 126 |
| 3.2.2.2 | Después de la carbonatación | 128 |
| 3.2.3 | Análisis de las pastas de cemento | 129 |
| 3.2.3.1 | Antes de la carbonatación | 130 |
| 3.2.3.2 | Después de la carbonatación | 132 |
| 3.3 | Análisis mediante microscopía electrónica de barrido de pastas carbonatadas | 134 |
| 3.3.1 | Diseño experimental..... | 134 |
| 3.3.2 | Análisis de pastas de cal..... | 135 |
| 3.3.2.1 | Antes de la carbonatación | 135 |
| 3.3.2.2 | Después de la carbonatación | 138 |
| 3.3.3 | Análisis de pastas de cemento | 140 |
| 3.3.3.1 | Antes de la carbonatación | 140 |
| 3.3.3.2 | Después de la carbonatación | 144 |
| 3.4 | Caracterización de la estructura porosa de morteros carbonatados | 147 |
| 3.4.1 | Diseño experimental..... | 147 |
| 3.4.2 | Resultados de las porosimetrías de los morteros..... | 148 |
| 3.5 | Conclusiones | 155 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4 | Cinética de carbonatación de morteros mixtos de cemento-FCC..... | 159 |
| 4.1 | Diseño experimental..... | 159 |
| 4.2 | Cinética de carbonatación de morteros | 164 |
| 4.3 | Efecto de la carbonatación en las propiedades mecánicas de los morteros | 173 |
| 4.4 | Conclusiones | 183 |
| 5 | Estudio de la velocidad de corrosión de aceros embebidos en morteros mixtos de cemento-FCC sometidos a un ataque por carbonatación..... | 185 |
| 5.1 | Diseño experimental..... | 186 |
| 5.1.1 | Materiales usados y elaboración de probetas | 186 |
| 5.1.2 | Conservación de las probetas | 187 |
| 5.1.3 | Medida de la velocidad de corrosión..... | 187 |
| 5.2 | Influencia de la relación a/mc | 188 |
| 5.3 | Influencia del porcentaje de sustitución de FCC..... | 190 |
| 5.4 | Influencia de la humedad relativa del medio de conservación | 193 |
| 5.5 | Efecto de la carbonatación de los morteros..... | 194 |
| 5.6 | Conclusiones | 199 |
| 6 | Efecto de la carbonatación en morteros ternarios de cemento-FCC-ceniza volante reforzados con acero | 201 |
| 6.1 | Diseño experimental..... | 202 |
| 6.1.1 | Materiales y elaboración de las probetas..... | 202 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1.2 | Ensayos de velocidad de carbonatación de morteros | 204 |
| 6.1.3 | Ensayos de velocidad de corrosión de aceros | 205 |
| 6.2 | Velocidad de carbonatación de morteros de cemento-FCC-CV | 206 |
| 6.3 | Velocidad de corrosión de aceros embebidos en morteros de cemento-FCC-CV carbonatados | 211 |
| 6.4 | Conclusiones | 215 |
| 7 | Efecto del ataque por cloruros en la matriz cementante de los morteros mixtos de cemento-FCC | 217 |
| 7.1 | Diseño de las experiencias | 218 |
| 7.2 | Análisis termogravimétrico de las pastas de cemento-FCC | 219 |
| 7.3 | Influencia de los cloruros en la propiedades mecánicas de morteros de cemento-FCC | 232 |
| 7.4 | Conclusiones | 235 |
| 8 | Cinética de ingreso de cloruros en morteros mixtos de cemento-FCC..... | 237 |
| 8.1 | Diseño de las experiencias | 238 |
| 8.2 | Cálculo de los coeficientes de difusión de cloruros | 242 |
| 8.3 | Caracterización de la red de poros | 251 |
| 8.4 | Medidas de resistividad de los morteros | 255 |
| 8.5 | Conclusiones | 257 |
| 9 | Estudio de la velocidad de corrosión de aceros embebidos en morteros mixtos de cemento-FCC sometidos a un ataque por cloruros externos | 259 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 9.1 | Diseño de las experiencias | 260 |
| 9.2 | Influencia del porcentaje de sustitución de FCC..... | 261 |
| 9.3 | Influencia de la relación a/mc | 264 |
| 9.4 | Influencia de un ataque por carbonatación posterior al ingreso de cloruros | 266 |
| 9.5 | Comprobación de medidas electroquímicas..... | 268 |
| 9.6 | Conclusiones | 271 |
| 10 | Estudio de la velocidad de corrosión de aceros embebidos en morteros mixtos de cemento-FCC sometidos a un ataque por cloruros internos | 273 |
| 10.1 | Diseño de las experiencias | 274 |
| 10.2 | Influencia del nivel de cloruros introducidos en amasado..... | 275 |
| 10.3 | Comprobación de las medidas electroquímicas | 279 |
| 10.4 | Conclusiones | 281 |
| 11 | Efecto del ataque por cloruros en morteros ternarios de cemento-FCC-ceniza volante reforzados con acero | 283 |
| 11.1 | Análisis termogravimétrico de pastas de cemento-FCC-CV | 284 |
| 11.1.1 | Diseño de las experiencias | 284 |
| 11.1.2 | Resultados y discusión | 285 |
| 11.2 | Cinética de ingreso de cloruros en morteros de cemento-FCC-CV | 293 |
| 11.2.1 | Diseño de las experiencias | 293 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 11.2.2 | Resultados y discusión | 294 |
| 11.3 | Corrosión de aceros en morteros de cemento-FCC-CV sometidos a un ataque por cloruros externos | 298 |
| 11.3.1 | Diseño de las experiencias | 298 |
| 11.3.2 | Resultados y discusión | 299 |
| 11.4 | Conclusiones | 303 |
| 12 | Conclusiones generales..... | 305 |
| 13 | Referencias | 309 |