

INDICE

MOTIVACIÓN	1
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	9
1.1. CONCEPTO DE DURABILIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO	11
1.2. LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO	14
1.3 FACTORES DESENCADENANTES DE LA CORROSIÓN	18
LAS CONSECUENCIAS DE LA CORROSIÓN Y SU PREVENCIÓN	25
CAPÍTULO 2: LOS SENSORES ELECTROQUÍMICOS Y LAS TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS DE MEDIDA	29
2.1. LOS SENSORES COMO RECEPTORES DE INFORMACIÓN	31
2.2. LOS SENSORES ELECTROQUÍMICOS	34
2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS DE MEDIDA	36
2.4. LAS TÉCNICAS POTENCIOMÉTRICAS	40
2.4.1. Sensores Potenciométricos para la determinación del Potencial de corrosión	44

2.4.2. Sensores Potenciométricos para la determinación del acceso de cloruros	48
2.4.3. Sensores Potenciométricos para la determinación del pH	52
2.5. LAS TÉCNICAS VOLTAMÉTRICAS	54
2.5.1. La Medida de la intensidad de corrosión en estructuras de hormigón armado. El método de intersección. Tafel	60
2.5.2. La Medida de la intensidad de corrosión en estructuras de hormigón armado. La Resistencia a la Polarización	64
2.5.3. Voltametría cíclica – Curvas de Polarización aplicadas al estudio de los procesos de corrosión	69
2.5.4. Técnicas Voltamétricas de Pulsos aplicadas al estudio de los procesos de corrosión	72
2.5.5. Análisis de Armónicos aplicados al estudio de la corrosión	73
2.6. TÉCNICAS AMPEROMÉTRICAS	74
2.7. TÉCNICAS MIXTAS	78
2.7.1. El ruido electroquímico	78
2.7.2. Espectroscopia de Impedancia aplicada al estudio de la corrosión	78
2.8. CONDUCTIMETRÍA. MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD	83
2.9. QUIMIOMETRÍA	86
2.9.1. Pre-procesado de datos.	87
2.9.2. Análisis de Componentes Principales (PCA)	90

CAPÍTULO 3: SENSORES THICK-FILM PARA LA MEDIDA DEL pH DEL HORMIGÓN	99
3.1. INTRODUCCIÓN	106
3.2. EXPERIMENTAL	106
3.2.1. Materiales y fabricación. Tecnología de Screen-Printing.	112
3.2.2. Instrumentación	108
3.2.3. Calibrado en disolución	115
3.2.4. Tests en probetas de hormigón	117
3.2.5. Preparación de la cámara de carbonatación. Bomba de vacío	119
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	122
3.3.1. Estudios realizados en disolución	122
3.3.1.1. Acondicionamiento de los sensores	122
3.3.1.2. Estudio de sensibilidad	123
3.3.1.3. Calibrado a diferentes temperaturas	132
3.3.1.4. Reversibilidad y tiempos de respuesta	134
3.3.1.5. Estudio interferentes	137
3.3.2. Ensayos de carbonatación acelerada realizados en hormigón endurecido	139
3.3.3. Ensayos para determinar la influencia de la humedad en la respuesta del sensor	145
3.4. CONCLUSIONES	148

CAPÍTULO 4: SENSORES THICK-FILM PARA LA DETECCIÓN DE CLORUROS	153
4.1. INTRODUCCIÓN	155
4.2. EXPERIMENTAL	159
4.2.1 Preparación de sensores “AAW”	159
4.2.2. Preparación de sensores “TFCS”.	161
4.2.3. Preparación de disoluciones.	163
4.2.4. Preparación de probetas.	164
4.2.5. Medidas electroquímicas.	166
4.2.6. Acondicionamiento, calibrado y determinación de los tiempos de respuesta de los sensores.	167
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	170
4.3.1. Estudio y caracterización de sensores AAW en disolución.	170
4.3.1.1. Acondicionamiento y tiempo de respuesta de sensores AAW.	170
4.3.1.2. Calibrado de sensores AAW en disolución acuosa.	172
4.3.1.3. Calibrado de sensores AAW en disolución de poro.	177
4.3.2. Estudio y caracterización de sensores TFCS.	181
4.3.2.1. Análisis de la pasta resistiva.	181
4.3.2.2. Acondicionamiento y tiempo de respuesta de sensores TFCS	183
4.3.2.3. Calibrado de sensores TFCS en disolución acuosa.	185

4.3.2.4. Calibrado de sensores TFCS en disolución de poro a distintos pH.	186
4.3.2.5. Calibrado de sensores TFCS a diferentes temperaturas.	192
4.3.2.6. Ajuste de los resultados: modelo de procesos de interferencia en electrodos sólidos.	194
4.3.2.7. Estudio de interferentes.	198
4.3.3. Medidas en hormigón. Reversibilidad de la respuesta.	200
4.3.4. Medidas en hormigón. Efectos del secado sobre el potencial eléctrico del sensor.	202
4.3.5. Medidas en hormigón. Sensibilidad del sensor.	206
4.4. CONCLUSIONES	211
CAPÍTULO 5: SENSORES PARA LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD	215
5.1. INTRODUCCIÓN	217
5.2. EXPERIMENTAL	227
5.2.1. Disoluciones y celdas para ensayos en disolución.	227
5.2.2. Fabricación de muestras de hormigón: materiales.	231
5.2.3. Fabricación de muestras de hormigón: probetas.	236
5.2.4. Prensas para la determinación de la resistencia eléctrica en probetas.	237
5.2.5. Métodos e instrumentación para la determinación de resistividad de las muestras.	240

5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	240
5.3.1. Ensayos en disolución: Determinación de la resistencia en celdas cilíndricas y prismáticas.	240
5.3.2. Resistencia eléctrica de las probetas de hormigón por el método Directo y por el método de Wenner.	246
5.3.3. Variación de la Resistencia eléctrica de probetas de hormigón en función del espesor de la muestra.	249
5.3.4. Medida de la resistividad con sensores embebidos en probetas .	256
5.4. CONCLUSIONES	270
CAPÍTULO 6: EL PCA COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DE LA CORROSIÓN DEL ACERO	273
6.1. INTRODUCCIÓN	275
6.2. EXPERIMENTAL	279
6.2.1. Preparación de muestras.	279
6.2.2. Preparación de los electrodos.	281
6.2.3. Técnicas electroquímicas	284
6.2.4. Potencial de Corrosión y Resistencia de polarización lineal	286
6.2.5. Voltametría Cíclica	288
6.2.6. Análisis multivariante	289
6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	290

6.3.1. Análisis LPR y Ecorr.	290
6.3.2. Datos Voltamétricos	297
6.3.3. Análisis de PCA.	303
6.4. CONCLUSIONES	312

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES **315**

ANEXO 1: CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN	321
A1.1. CONSIDERACIONES PREVIAS	323
A1.2. EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN ARMADO	324
A1.1.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CARBONATACIÓN	327
A1.1.2. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL pH EN HORMIGONES	331
A1.1.3. PREDICCIÓN DEL AVANCE DEL FRENTE CARBONATADO	333

ANEXO 2: ION CLORURO	331
A2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS Y ASPECTOS NORMATIVOS	333
A2.2. EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN ARMADO	336
A2.3. UMBRAL CRÍTICO DE CLORUROS	337
A2.4. CLORUROS LIBRES Y CLORUROS TOTALES	339

A2.5. LA DIFUSIÓN DE CLORUROS EN EL HORMIGÓN	340
A2.6. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIÓN DE CLORUROS	345

ANEXO 3: ION SULFATO **357**

A3.1. CONSIDERACIONES PREVIAS Y ASPECTOS NORMATIVOS	359
A3.2. EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN ARMADO	361

ANEXO 4: SENSORES Y TÉCNICAS EXPERIMENTALES **367**

A4.1. LOS SENSORES QUÍMICOS	369
A4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES	371
A4.3. CARACTERÍSTICAS EXIGIBLES A UN SENSOR	373
A4.4. INSTRUMENTACIÓN: TIPOS DE ELECTRODOS-SENSORES	375
A4.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES POTENCIOMÉTRICOS	380
A4.6. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS VOLTAMÉTRICAS	385