
ÍNDICE

OBJETIVOS.....	1
METODOLOGÍA.....	3
1. CORROSIÓN EN EL HORMIGÓN ARMADO: ESTADO DEL ARTE.....	7
1.1. Introducción	7
1.2. Mecanismos electroquímicos	10
1.2.1. Proceso electroquímico de la corrosión.....	10
1.3. Corrosión en el hormigón armado	25
1.3.1. Electrodo embebido en hormigón.....	25
1.3.2. Potencial de corrosión	27
1.3.3. Formación de la capa pasiva	29
1.4. Factores desencadenantes de la corrosión	30
1.4.1. Corrosión inducida por la carbonatación	31
1.4.2. Corrosión inducida por cloruros.....	37
1.5. Estimación de la vida útil.....	48
1.5.1. Diagrama de Tuutti	48
1.6. Formas de corrosión.....	53
1.6.1. Microceldas	53
1.6.2. Macroceldas	55
1.7. Consecuencias de la corrosión	56
1.8. Inspección de la corrosión en las estructuras de hormigón armado	62
1.8.1. Técnicas cualitativas.....	63
1.8.2. Técnicas cuantitativas	75
1.8.3. Sistemas de medida in situ	124

1.8.4.	Sistemas de monitorización embebidos	134
2.	CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN Y MONITORIZACIÓN DE LA CORROSIÓN	159
2.1.	Materiales y métodos	160
2.1.1.	Dosificaciones	160
2.1.1.	Condiciones de curado	165
2.2.	Ensayos de caracterización	165
2.2.1.	Resistencia a compresión	166
2.2.2.	Porosimetría de intrusión de mercurio (MIP)	167
2.2.3.	Porosidad accesible al agua	168
2.2.4.	Absorción de agua por capilaridad	169
2.2.5.	Permeabilidad al oxígeno	170
2.2.6.	Migración de cloruros	173
2.2.7.	Difusión unidireccional de los cloruros	175
2.2.8.	Carbonatación acelerada	177
2.2.9.	Resistividad	179
2.2.10.	Intensidad de corrosión	180
2.3.	Resultados	184
2.3.1.	Resistencia a compresión	184
2.3.2.	Porosimetría de intrusión de mercurio (MIP)	185
2.3.3.	Porosidad accesible al agua	188
2.3.4.	Absorción de agua por capilaridad	189
2.3.5.	Permeabilidad al oxígeno	194
2.3.6.	Migración de cloruros	196
2.3.7.	Difusión unidireccional de cloruros	197
2.3.8.	Carbonatación acelerada	204
2.3.9.	Resistividad	208
2.3.10.	Intensidad de corrosión	211

2.4.	Síntesis de los resultados	220
2.5.	Conclusiones del capítulo	224
3.	VOLTAMETRÍA MEDIANTE ESCALONES DE POTENCIAL: ANÁLISIS DE LA CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO	229
3.1.	Introducción	229
3.2.	Voltametría mediante escalones de potencial (PSV)	231
3.2.1.	Secuencia de pulsos	234
3.2.2.	Valores del incremento de potencial aplicado	237
3.2.3.	Respuesta de la intensidad al pulso potencioestático.....	242
3.2.4.	Duración del pulso.....	243
3.2.5.	Modelización del circuito equivalente	247
3.2.6.	Procesado de la señal eléctrica	252
3.3.	Voltametría mediante escalones de potencial y análisis de la carga acumulada (PSV-CA)	256
3.3.1.	Circuito equivalente	257
3.3.2.	Valor de los escalones de potencial.....	262
3.3.3.	Secuencia de pulsos completa	266
3.3.4.	Estudio de la carga.....	272
3.3.5.	Cálculo de la caída óhmica	280
3.3.1.	Resumen.....	293
3.4.	Caso práctico	296
3.4.1.	Materiales	296
3.4.2.	Métodos de medida	297
3.4.3.	Resultados.....	300
3.4.4.	Conclusiones	309
3.5.	Conclusiones del capítulo	310
4.	CORRIENTES DE MACROCELDA	315
4.1.	Introducción	315

4.2.	Aproximaciones teóricas.....	316
4.2.1.	Ecuaciones de Butler-Volmer	316
4.2.2.	Curvas de polarización.....	327
4.3.	Macroceldas en estructuras de hormigón armado	336
4.3.1.	Armaduras en estado pasivo	337
4.3.2.	Armaduras despasivadas.....	340
4.3.3.	Fisuración	350
4.3.4.	Reparaciones.....	354
4.4.	Factores que influyen en la intensidad de las corrientes de macrocelda.....	360
4.4.1.	Resistividad del hormigón	360
4.4.2.	Ratio cátodo/ánodo	369
4.4.3.	Condiciones de exposición	384
4.4.4.	Posición de las armaduras	399
4.5.	Caso práctico.....	404
4.5.1.	Materiales	405
4.5.2.	Método de exposición	408
4.5.3.	Medidas	410
4.5.4.	Resultados.....	412
4.5.5.	Inspección visual de las muestras	426
4.5.6.	Estudio de la pérdida de sección de las armaduras	433
4.5.7.	Conclusiones del caso práctico	457
4.6.	Conclusiones del capítulo.....	459
5.	MONITORIZACIÓN DE LA CORROSIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO	465
5.1.	Introducción	465
5.2.	Utilización de sensores para la monitorización de la corrosión	466
5.2.1.	Condicionantes de los sensores actualmente	467

5.3.	Sistema de monitorización PSV-CA+INESSCOM-2.0.....	470
5.3.1.	Configuración del sensor.....	471
5.3.2.	Medida de la intensidad de corrosión.....	475
5.3.3.	Ventajas del nuevo sistema sensor.....	481
5.3.4.	Red de sensores.....	482
5.4.	Monitorización de la corrosión en pilares parcialmente sumergidos.....	485
5.4.1.	Materiales y métodos.....	485
5.4.2.	Medidas.....	490
5.4.3.	Resultados y discusión.....	493
5.4.4.	Inspección visual de las armaduras.....	511
5.4.5.	Conclusiones.....	514
5.5.	Monitorización de la corrosión en una losa de hormigón armado.....	516
5.5.1.	Materiales y métodos.....	516
5.5.2.	Medidas.....	526
5.5.3.	Resultados.....	528
5.5.4.	Inspección de las armaduras.....	535
5.5.5.	Conclusiones.....	539
5.6.	Monitorización de la corrosión en estructuras sometidas a condiciones de servicio: elementos fisurados.....	541
5.6.1.	Materiales y métodos.....	542
5.6.2.	Medidas.....	549
5.6.3.	Resultados y discusión.....	550
5.6.4.	Conclusiones.....	554
5.7.	Conclusiones del capítulo.....	555
6.	CONCLUSIONES GENERALES.....	561
6.1.	Apartado de conclusiones.....	561
6.2.	Futuras líneas de trabajo.....	563

6.	GENERAL CONCLUSIONS.....	567
6.1.	Section of conclusions	567
6.2.	Future works.....	569
7.	BIBLIOGRAFÍA	573
8.	ANEXOS	619
8.1.	Anexo 1: Cálculo de los componentes del circuito eléctrico a partir del estudio de la carga acumulada	619
8.1.1.	-Primera rama	620
8.1.2.	-Segunda rama.....	623
8.1.3.	-Tercera rama	624
8.2.	Monitorización de la corrosión sobre armaduras embebidas en hormigón	633
8.3.	Monitorización de la corrosión en una losa de hormigón armado	649