

ÍNDICE

Presentación	17
A modo de balance más que de prólogo	19
 I PARTE	
Aspectos generales de la corrosión en el sector de la construcción	21
 CAPÍTULO I	
El hormigón y el hormigón armado	23
Resumen	23
1. Antecedentes	23
2. Cementos	24
3. Fraguado	27
4. Tipos de cementos	30
5. Morteros y hormigones	32
6. Durabilidad del hormigón	33
7. Aditivos del hormigón	36
Referencias	37
 CAPÍTULO II	
Conceptos fundamentales de la corrosión.	
Métodos de medida y estudio del proceso de degradación metálica	39
Resumen	39
1. Introducción	39
1.1. Fundamentos de la reactividad superficial	40
1.2. Corrosión electroquímica: Pilas de corrosión	41
1.3. Un poco de historia	45
2. Medida de la corrosión	46
2.1. Métodos directos e indirectos de medida de la corrosión	46

2.2. Métodos electroquímicos de estudio de la corrosión	48
2.2.1. Método de intersección	50
2.2.2. Método de resistencia de polarización	50
2.2.3. Curvas de polarización	53
3. El hormigón como electrólito	57
4. Sumario	58
Referencias	58

CAPÍTULO III

Problemas de corrosión en la industria de la construcción.

Durabilidad de las estructuras metálicas	59
Resumen	59
1. Introducción: Efecto de la corrosión en la durabilidad de las estructuras metálicas	59
1.1. El coste social de la corrosión	60
1.2. Repercusión de la corrosión en la conservación de recursos naturales y en el entorno ambiental	61
2. Algunas ideas básicas sobre la corrosión	63
3. Problemas de corrosión en el sector de la construcción	66
3.1. Medidas protectoras: Recomendaciones generales	66
3.2. Peculiaridades del sector de la construcción	66
4. Materiales que necesitan protección: Estructuras de acero	69
4.1. Comportamiento del acero en distintos tipos de atmósferas	69
4.2. Contraste con otros materiales metálicos	70
5. Problemas frecuentes en la industria de la construcción	74
5.1. Enumeración y estado de los problemas. Problemas resueltos y problema sin resolver	74
5.2. Unas palabras sobre las estructuras de hormigón armado	76
5.3. Aplicaciones arquitectónicas del aluminio	76
5.4. Instalaciones de distribución de agua	80
6. Algunas consideraciones sobre el uso de los aceros inoxidables en arquitectura	82
Referencias	84

II PARTE

Factores de corrosión en el sistema acero-hormigón y su estudio	87
--	-----------

CAPÍTULO IV

Factores desencadenantes de la corrosión en las estructuras de hormigón armado y factores condicionantes de la misma

Resumen	89
1. Introducción	89
2. Posibilidad, probabilidad y cinética de corrosión	91
3. El papel del pH en la rotura de la pasividad	96
4. El papel acelerante del oxígeno y de la humedad	99
5. Efectos de los factores desencadenantes de la corrosión	102

6. Otros factores desencadenantes	103
Referencias	104

CAPÍTULO V

Efectos de la corrosión en las estructuras de hormigón armado y medida de la misma	107
--	-----

Resumen	107
1. Introducción	107
2. Efectos de la corrosión	111
3. Medida de la corrosión	117
3.1. Materiales utilizados	117
3.2. Técnicas experimentales	119
3.2.1. Medida del potencial de las armaduras	119
3.2.2. Mapas de potenciales	121
3.2.3. Utilización de probetas de resistencia eléctrica	122
3.2.4. Medida de la resistencia de polarización: en el laboratorio y a pie de obra	122
Referencias	128

CAPÍTULO VI

Etapas iniciales del proceso de corrosión en el sistema $\text{Fe}/\text{Ca}(\text{OH})_2$ saturado/cloruros	131
--	-----

Resumen	131
1. Introducción	131
2. Materiales y métodos	133
2.1. Materiales ensayados	133
2.2. Métodos de ensayo	135
3. Resultados experimentales	136
4. Discusión	139
4.1. El factor desencadenante de la transición entre los estados pasivo y activo	139
4.2. Teoría de la acidificación local	140
5. Conclusiones	143
Referencias	143

CAPÍTULO VII

Corrosión de las armaduras por carbonatación del hormigón	145
---	-----

Resumen	145
1. Introducción	145
1.1. El proceso de carbonatación en atmósferas naturales	146
2. Materiales ensayados y métodos de ensayo	149
3. Resultados experimentales	151
4. Discusión	157
4.1. Mecanismo de la corrosión en el mortero carbonatado	158
4.2. Control por resistencia de la velocidad de corrosión	160

5. Conclusiones	161
Referencias	161

CAPÍTULO VIII

Algunas consideraciones sobre el efecto de los iones cloruro en la corrosión del acero de refuerzo de las estructuras de hormigón armado	163
---	-----

Resumen	163
1. Introducción	163
1.1. El papel de los cloruros como destructores de la pasividad	164
2. Materiales y métodos	165
3. Resultados experimentales	165
3.1. Ensayos en soluciones saturadas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	165
3.2. Ensayos con probetas de mortero	168
3.3. Contraste entre las respuestas obtenidas en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y en mortero u hormigón	171
4. Discusión	172
4.1. Iniciación de la corrosión por efecto de los cloruros	172
4.2. Umbral crítico de cloruros	175
4.3. Efecto de los cloruros sobre la durabilidad de las EHA	176
Referencias	178

CAPÍTULO IX

Influencia del grado de saturación de los poros y de la resistividad del hormigón en la velocidad de corrosión de las armaduras	181
---	-----

Resumen	181
1. Introducción	181
2. Técnica experimental	182
3. Resultados	184
4. Discusión	188
5. Conclusiones	190
Referencias	191

CAPÍTULO X

Velocidades de corrosión que empiezan a plantear problemas de durabilidad en las estructuras de hormigón armado	193
---	-----

Resumen	193
1. Introducción	193
2. Procedimiento experimental	195
2.1. Ensayos con probetas de mortero	195
2.2. Ensayos en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	196
2.3. Ensayos previos en probetas de mortero	197
3. Resultados experimentales	197
4. Discusión	201
5. Conclusiones	204
Referencias	205

CAPÍTULO XI

Efecto de los macropares galvánicos en el comportamiento del sistema acero-hormigón frente a la corrosión	207
Resumen	207
1. Introducción	207
1.1. Definición de micropilas y macropilas de corrosión	208
2. Procedimiento experimental	210
2.1. Tipos de pares galvánicos utilizados	210
2.2. Procedimientos experimentales	212
3. Resultados	212
4. Discusión	217
4.1. Iniciación de la corrosión	217
4.2. Efecto de las macropilas (macropares galvánicos)	217
5. Conclusiones	219
Referencias	219

CAPÍTULO XII

Consideraciones sobre los posibles mecanismos de corrosión de las estructuras de hormigón armado y sobre los factores que controlan su cinética	221
Resumen	221
1. Introducción	221
1.1. Factores controlantes de la corrosión	222
2. Materiales y métodos experimentales	223
2.1. Materiales utilizados	223
2.2. Técnicas experimentales	225
3. Resultados experimentales	226
4. Discusión	231
4.1. Posibles factores controlantes de la cinética de corrosión	231
4.2. Posibles reacciones catódicas alternativas a la reducción del oxígeno	233
4.3. Contribución relativa de los macropares galvánicos y las micropilas de corrosión	234
4.4. Permanencia del carácter protector de los recubrimientos de hormigón	235
4.5. Efecto del grado de corrosión inicial de las armaduras	236
5. Conclusiones	236
Referencias	237

CAPÍTULO XIII

Comportamiento del acero precorroido en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y en mortero de cemento	239
Resumen	239
1. Introducción	239
2. Trabajo experimental realizado	241
2.1. Materiales	241
2.2. Técnicas de medida	242

3. Resultados experimentales	242
4. Discusión	249
4.1. Punto de partida	249
5. Conclusiones	252
Referencias	252

III PARTE

Protección y reparación	255
--------------------------------------	------------

CAPÍTULO XIV

Análisis de la efectividad del galvanizado en la protección frente a la corrosión de las armaduras en medios con cloruros	257
---	-----

Resumen	257
1. Introducción	257
2. Método experimental	259
2.1. Materiales	259
2.2. Técnicas de Evaluación	261
3. Resultados	261
4. Discusión	265
5. Conclusiones	269
Referencias	269

CAPÍTULO XV

Protección mediante inhibidores del acero en hormigón conteniendo cloruros	271
--	-----

Resumen	271
1. Introducción	271
2. Materiales y métodos	274
3. Resultados experimentales	275
3.1. Umbral de inhibidor	275
3.2. Compensación con NO_2^- del efecto de los cloruros del agua de mar	277
3.3. Lixiviación de nitritos y cloruros	279
3.4. Protección de superficies precorroídas	280
4. Discusión	281
4.1. Umbral de inhibidor	281
4.2. Compensación con NO_2^- del efecto de los Cl^- del agua de mar ...	282
4.3. Cinética de extracción de nitritos y cloruros	283
4.4. Protección de superficies precorroídas	283
5. Conclusiones	284
Referencias	284

CAPÍTULO XVI

Métodos de reparación y protección	287
--	-----

Resumen	287
1. Introducción	287

2. Inspecciones preventivas o forzadas	288
3. Estimación de la resistencia mecánica residual	289
4. Clasificación de los daños debidos al ataque por corrosión	290
5. Objetivos de la inspección	292
6. Sistemas de reparación a utilizar en estructuras dañadas por corrosión de las armaduras	293
7. Tipos de materiales de reparación	295
8. Recubrimientos protectores	297
9. Seguimiento de una estructura reparada	298
10 Conclusión	298
Referencias	298

CAPÍTULO XVII

Procedimientos electroquímicos de rehabilitación de las estructuras ya corroídas de hormigón armado. La protección catódica	301
---	-----

Resumen	301
1. Introducción	301
1.1. Importancia de la corrosión en el sector de la construcción y enumeración de algunas cuestiones conflictivas	301
1.2. Consideraciones sobre el estado del arte	302
1.3. Punto de partida	303
1.4. Dificultades que presenta la PC de las EHA	304
2. Distribución geográfica de las estructuras corroídas	305
3. Reparación y protección	307
4. Peculiaridades de la PC de las estructuras de hormigón armado	310
4.1. Sistemas de protección catódica	311
4.2. Sistemas de ánodos inertes	311
4.3. Mallas de ánodos dispersores de corriente	312
4.4. Sistemas de capas conductoras	312
4.5. Otros sistemas de ánodos y de fuentes de corriente	313
5. Criterios de protección	314
6. Control de la protección catódica	315
7. Sumario	316
Referencias	316

CAPÍTULO XVIII

Procedimientos electroquímicos de prevención de la corrosión en estructuras de hormigón armado. La extracción electroquímica de cloruros y la realcalinización	319
--	-----

Resumen	319
1. Introducción	320
1.1. Fundamentos	322
1.2. Comprobación de la rehabilitación electroquímica y de sus efectos	324
2. Parte experimental	325
2.1. Materiales	325
2.2. Métodos experimentales	327
3. Resultados experimentales	327

4. Discusión	334
4.1. Consideraciones de partida	334
4.2. Insuficiencia de las medidas de potencial como método de evaluación de la RAE	336
4.3. Otros procedimientos de evaluación de la eficacia de los MER ..	336
5. Conclusiones	338
Referencias	339

IV PARTE

Inspección, ensayos, diagnóstico y predicciones	343
--	------------

CAPÍTULO XIX

Inspección y diagnóstico de las estructuras de hormigón armado	345
--	-----

Resumen	345
1. Introducción	345
1.1. Inspecciones preventivas y forzadas	347
2. Materiales y métodos experimentales	348
3. Resultados experimentales	350
4. Consideraciones sobre la inspección y diagnóstico de las EHA	352
4.1. Objetivos de una inspección	352
4.2. Estimación y medida de la corrosión	354
4.3. Problemas asociados a la medida de potenciales	356
4.4. Efecto de la resistividad del hormigón sobre la corrosión de las armaduras	358
4.5. Velocidades de corrosión tolerables e inadmisibles	358
5. Valoración de los resultados de una inspección: diagnosis	359
5.1. Diagnosis	361
Referencias	362

CAPÍTULO XX

Determinación a pie de obra de la velocidad de corrosión en las estructuras de hormigón armado	365
--	-----

Resumen	365
1. Introducción	365
2. Procedimiento experimental	368
2.1. Sistemas estudiados	368
2.2. Disposición de los electrodos	368
2.3. Estimación de la superficie eficaz	369
2.4. Medida de transitorios. Pulsos de corta duración	370
2.4.1. Determinación directa de la constante de tiempo	371
3. Resultados y discusión	373
3.1. Determinación del área eficaz del ET	373
3.2. Comparación de resultados	374
3.3. Determinación directa de la constante de tiempo del sistema	375
4. Conclusiones	377
Referencias	378

CAPÍTULO XXI

Casos prácticos de corrosión en estructuras de hormigón armado	381
--	-----

Resumen	381
---------------	-----

1. Introducción	381
-----------------------	-----

2. Casos prácticos	382
--------------------------	-----

2.1. Deterioro de unas viviendas prefabricadas, por corrosión de las armaduras	382
--	-----

2.2. Causas del distinto grado de corrosión que presentan los cables de pretensado de una viga prefabricada	385
---	-----

2.3. Reparación de la planta baja de un hipermercado utilizada como aparcamiento	388
--	-----

2.4. Corrosión en las bases de las farolas del barrio de San Borja en Lima	390
--	-----

2.5. Corrosión de un tejado de acero galvanizado que sustentaba una capa de hormigón ligero	392
---	-----

2.6. Efecto de la corrosión sobre los pilares de la estructura de hormigón armado de un edificio dedicado a hotel	394
---	-----

2.7. Corrosión de las bases de unas torres de tendido eléctrico	396
---	-----

Referencias	399
-------------------	-----

CAPÍTULO XXII

Algunos métodos no destructivos de evaluación de las estructuras de hormigón armado	401
---	-----

Resumen	401
---------------	-----

1. Introducción	401
-----------------------	-----

2. Daños visibles	408
-------------------------	-----

3. Métodos de control de la corrosión en las EHA	408
--	-----

Referencias	411
-------------------	-----

CAPÍTULO XXIII

Predicción de la vida residual de las estructuras corroídas de hormigón armado, incidencia de la temperatura	413
--	-----

Resumen	413
---------------	-----

1. Introducción	413
-----------------------	-----

1.1. Cuantificación del modelo de Tuutti	415
--	-----

2. Objetivo principal	415
-----------------------------	-----

3. Materiales y Métodos	417
-------------------------------	-----

4. Resultados experimentales	417
------------------------------------	-----

4.1. Predicciones de durabilidad	420
--	-----

5. Discusión	420
--------------------	-----

5.1. Análisis crítico de las predicciones de vida en servicio	420
---	-----

5.2. Efecto de la temperatura en la esperanza de vida de una estructura de hormigón armado	422
--	-----

6. Conclusiones	424
-----------------------	-----

Referencias	424
-------------------	-----

APÉNDICES

APÉNDICE I

Conclusiones generales sobre la corrosión de las EHA	427
--	-----

APÉNDICE II

La corrosión en píldoras	431
--------------------------------	-----