

Indice

Capítulo 1 Principios generales de corrosión en concreto armado ······ 1

1.1 La importancia de la corrosión ······	1
1.2 La corrosión ······	1
1.3 Las celdas electroquímicas ······	2
1.3.1 La celda electrolítica ······	3
1.3.2 La celda galvánica ······	3
1.4 La serie electromotriz ······	3
1.5 El diagrama de Pourbaix ······	4
1.6 La polarización ······	5
1.7 Los diagramas de Evans ······	8
1.8 La pasivación ······	10
1.9 Referencias ······	11

Capítulo 2 Mecanismos de deterioro en ambientes marinos y urbanos ··· 13

2.1 Cloruros ······	13
2.1.1. Penetración del ion cloruro ······	14
2.1.1.1. Mecanismos de penetración ······	14
2.1.1.2. Porosidad ······	14
2.1.2 Ataque al refuerzo metálico ······	16
2.2 Carbonatación ······	17
2.2.1 Reacciones con la pasta de cemento ······	17
2.2.2 Despasivación por abatimiento del pH ······	18
2.3 Ataque por sulfatos ······	20
2.3.1 Reacciones con la pasta de concreto ······	20
2.3.2 Equilibrios en la disolución del poro y su efecto sobre el acero de refuerzo ······	21

2.4 Deterioro de la estructura debido a la corrosión del refuerzo ······	2
2.4.1 Detección de la corrosión ······	2
2.4.1.1 Modos de la corrosión ······	2
2.4.1.2 Manifestación de la corrosión ······	2
2.4.1.3 Monitoreo de la corrosión ······	2
2.4.2 Proceso de agrietamiento de estructuras de concreto por corrosión ······	2
2.4.3 Efecto de la corrosión de la armadura en la resistencia del elemento estructural ······	2
2.4.3.1 Vigas ······	2
2.4.3.2 Columnas ······	2
2.4.4 Estimación de la vida útil y vida residual de una estructura corroída ······	26
2.4.5 Sumario ······	27
2.5 Referencias ······	28

Capítulo 3 Técnicas y métodos para detectar daños en el concreto armado ··· 31

3.1 Técnicas electroquímicas para evaluar la icorr en estructuras de concreto armado ······	31
3.2 Los electrodos de referencia ······	32
3.3 Técnicas electroquímicas de corriente continua ······	32
3.3.1 Resistencia de polarización ······	32
3.3.2 Ciclovoltametría ······	33
3.3.3 Escalón de potencial ······	33
3.3.4 Escalón de intensidad ······	34
3.3.5 La técnica coulostática ······	34
3.4 Técnica electroquímica de corriente alterna ······	35

3.4.1 Impedancia electroquímica o impedancia faradáica ······	35
3.5 El ruido electroquímico ······	36
3.6 Técnicas de medición en campo ······	36
3.6.1 El corrosímetro ······	36
3.6.1.1 El anillo de guarda. ······	36
Referencias ······	37

Capítulo 4 Sistemas para prevención de deterioro o rehabilitación de infraestructura ······ 39

4.1 Los materiales de construcción y la supervisión como elementos para prevenir o rehabilitar infraestructura ······	39
4.2 Cementos ······	40
4.3 Lechadas y morteros ······	40
4.4 Concretos especiales ······	41
4.4.1 Concretos arquitectónicos ······	41
4.4.2 Concretos de alto comportamiento ······	41
4.5 Parcheos ······	41
4.6 Recubrimientos ornamentales ······	42
4.7 Aceros especiales ······	42
4.8 Primarios y pinturas ······	43
4.9 Realcalinización del concreto ······	44
4.10 Remoción de cloruros ······	44
4.11 Inhibidores de corrosión ······	45
4.12 Protección catódica ······	45
4.12.1 La protección catódica puede ser por: corriente impresa o por ánodo de sacrificio ······	45
4.12.1.1. Protección catódica por corriente impresa ······	45
4.12.1.2 Protección catódica por ánodos de sacrificio. ······	46
4.12.2 Efectos benéficos inducidos por la protección catódica ······	46
4.12.3 Contribuciones negativas ······	47
4.12.3.1 Degradación del concreto ······	47
4.12.3.2 Pérdida de adherencia ······	47
4.12.3.3 Fragilidad por hidrógeno. ······	47
4.12.4 Protección catódica intermitente ······	47
4.12.5 Prevención catódica ······	47

4.12.6 Comentario acerca de la protección catódica a aceros de refuerzo en estructuras de concreto ······	47
Referencias ······	47

Capítulo 5 Deterioro y conservación de infraestructura vial ······ 49

5.1 Resumen ······	49
5.2 Descripción del problema ······	49
5.2.1 Antecedentes ······	49
5.2.1.1 Definición y tipos de pavimentos de concreto hidráulico ······	50
5.2.1.2 Durabilidad de pavimentos de concreto hidráulico ······	51
5.2.1.3 Prácticas actuales en México ······	52
5.2.2 Deterioro de pavimentos de concreto hidráulico ······	53
5.2.2.1 Descripción de los principales tipos de deterioros ······	53
5.2.2.2 Deterioros ligados a problemas de durabilidad ······	55
5.3 Acciones de inspección ······	57
5.3.1 Evaluación preliminar ······	60
5.3.2 Evaluación detallada ······	62
5.4 Recomendaciones para rehabilitación ······	63
5.5 Diagnóstico ······	63
5.6 Conclusiones ······	63
5.7 Agradecimientos ······	64
Referencias ······	64

Capítulo 6 Deterioro y conservación en un ambiente de emisiones industriales ······ 67

6.1 Resumen ······	67
6.2 Descripción del problema ······	67
6.3 Acciones de inspección ······	68
6.4 Diagnóstico ······	69
6.5 Acciones y resultados de reparación ······	70
6.6 Recomendaciones ······	72
6.7 Conclusiones ······	72
6.8 Agradecimientos ······	72

Referencias	72
-------------	----

Capítulo 7 Deterioro y conservación de silos de concreto ······ 73

7.1 Resumen	73
7.2 Descripción del problema	73
7.3 Inspección	73
7.4 Seguimiento de la corrosión	75
7.4.1 Medición de potenciales	75
7.4.2 Medición de velocidad de corrosión (resistencia a la polarización, Rp)	76
7.5 Resultados	76
7.5.1 Medición de potenciales	77
7.5.2 Velocidad de corrosión (criterios de evaluación)	80
7.5.3 Análisis por microscopía electrónica del acero de refuerzo	83
7.6 Conclusiones del caso	84
7.7 Recomendaciones	85
7.8 Agradecimientos	85
7.9 Referencias	86

Capítulo 8 Estudio del grado del deterioro de edificios de la Ciudad Universitaria de la UNAM ······ 87

8.1 Resumen	87
8.2 Descripción del problema	87
Acciones de inspección	88
8.3 El caso de la biblioteca central	88
8.3.1 Inspección preliminar	88
8.3.1.1 Antecedentes	88
8.3.1.2 Inspección visual	88
8.3.2 Inspección detallada	88
8.4 El caso del edificio "A" de la Facultad de Química	97
8.4.1 Inspección preliminar	97
8.4.1.1 Antecedentes	97
8.4.1.2 Inspección visual	97
8.4.2 Inspección detallada	97
8.5 El caso del edificio "D" de la Facultad de Química	103
8.5.1 Inspección preliminar	103

8.5.1.1 Antecedentes	103
8.5.1.2 Inspección visual	103
8.5.2 Inspección detallada	109
8.6 El caso de la Biblioteca de la Facultad de Derecho	109
8.6.1 Inspección preliminar	109
8.6.1.1 Antecedentes	109
8.6.1.2 Inspección visual	110
8.6.2 Inspección detallada	110
8.7 Acciones de reparación	116
8.8 Recomendaciones	116
8.9 Comentarios	116
8.10 Conclusiones del caso	116
8.11 Agradecimientos	116
8.12 Referencias	116
8.13 Lecturas complementarias	117

Capítulo 9 Corrosión de metales en suelos ······ 119

9.1 Algunas generalidades de la corrosión en suelos	119
9.1.1 Introducción	119
9.1.2 Corrosión en suelos	120
9.1.3 Corrosión en suelo debida a celdas de corrosión creadas por diferentes metales	121
9.1.4 Corrosión en suelo por diferencias en las edades de los metales	122
9.1.5 Corrosión debida a diferentes suelos	122
9.1.6 Celdas de corrosión creadas por diferente concentración de oxígeno	122
9.1.7 Corrosión anaerobia en suelos	123
9.1.8 Factores que influyen sobre la corrosión en suelos	123
9.1.8.1 Estructura del suelo	123
9.1.8.2 Resistividad del suelo	124
9.1.8.3 Métodos generales para la prevención de la corrosión en suelos	124
9.2 Evaluación de agresividad corrosiva de muestras de suelos en la Península de Yucatán	124
9.2.1 Selección de suelos	125
9.2.2 Filtrados acuosos de suelos para análisis químico y electroquímico	125

9.2.3 Preparación de especímenes metálicos para determinación de pérdida de masa · · · · ·	125
9.2.4 Preparación del suelo para medición de su resistividad · · · · ·	126
9.2.5 Pruebas electroquímicas · · · · ·	126
9.3 Resultados · · · · ·	127
9.3.1 Resistividad de muestras de suelo · · · · ·	127
9.3.2 Características químicas del suelo. Análisis químicos de filtrados acuosos de suelo · · · · ·	128
9.3.3 Análisis electroquímico de filtrados acuosos de suelos · · · · ·	129
9.3.4 Pérdida de masa por corrosión en los especímenes de acero enterrados en los suelos · · · · ·	130
9.4 Conclusiones · · · · ·	131
Referencias · · · · ·	131
Capítulo 10 Durabilidad del concreto en el análisis de costos de un proyecto, basado en el concepto de vida útil · · · · ·	133
10.1 Resumen · · · · ·	133
10.2 Antecedentes · · · · ·	133
10.3 Evaluación de la estructura · · · · ·	134
10.3.1 Inspección de campo · · · · ·	134
10.3.2 Pruebas de laboratorio · · · · ·	134
10.4 Análisis de costos · · · · ·	134
10.5 Definición de vida útil · · · · ·	134
10.6 Análisis de resultados · · · · ·	135
10.7 Toma de decisiones · · · · ·	136
10.8 Conclusiones · · · · ·	136
Referencias · · · · ·	137
Anexo 1 Pruebas de laboratorio · · · · ·	138
Capítulo 11 Impacto del ambiente marino en el deterioro de un muelle de concreto armado · · · · ·	141
11.1 Resumen · · · · ·	141
11.2 Descripción del problema · · · · ·	141
11.3 Acciones de inspección · · · · ·	141
11.3.1 Caracterización de la estructura del muelle · · · · ·	141
11.3.1.1 Los delfines de atraque y los pilotes · · · · ·	142
11.3.1.2 Contenido de cloruros · · · · ·	149
11.3.1.3 Pruebas de carbonatación · · · · ·	151
11.3.1.4 Contenido de sulfatos · · · · ·	151
11.3.2 Caracterización de la atmósfera (aguas) · · · · ·	151
11.4 Conclusiones · · · · ·	153
11.5 Agradecimientos · · · · ·	153
11.6 Referencias · · · · ·	153
Capítulo 12 Evaluación de instalación deportiva con más de 30 años de construcción · · · · ·	155
12.1 Resumen · · · · ·	155
12.2 Antecedentes · · · · ·	155
12.3 Visita de campo · · · · ·	155
12.3.1 Condiciones de exposición y servicio de la estructura · · · · ·	155
12.3.2 Observaciones de campo · · · · ·	155
12.3.3 Estructuras dañadas · · · · ·	155
12.4 Evaluación de concretos · · · · ·	157
12.4.1 Carbonatación · · · · ·	157
12.4.2 Resistencia a compresión · · · · ·	157
12.4.3 El estudio petrográfico · · · · ·	158
12.4.4 Presencia de cloruros · · · · ·	158
12.5 Análisis de información · · · · ·	158
12.6 Evaluación de daños · · · · ·	162
12.6.1 Columnas · · · · ·	162
12.6.2 Losa de pasillo del segundo nivel · · · · ·	162
12.6.3 Zona de graderías · · · · ·	163
12.6.4 Ramps de acceso · · · · ·	163
12.7 Conclusiones · · · · ·	163
Referencias · · · · ·	163
Capítulo 13 Deterioro y conservación en edificios de ambiente marino · · · · ·	165
13.1 Resumen · · · · ·	165
13.2 Descripción del problema · · · · ·	165
13.2.1. El ambiente marino de Yucatán · · · · ·	165

13.2.2. La utilización de materiales inadecuados	166
13.2.3. La influencia de los cloruros y de la carbonatación en el deterioro de las estructuras	166
13.3. Acciones de inspección	169
13.3.1. Inspección Preliminar	169
13.3.1.1. Mediciones de resistividad en concretos	169
13.3.1.2. Obtención de datos del medio ambiente.	171
13.3.1.3. Establecimiento de hipótesis a comprobar en la inspección de tallada	171
13.3.2. Inspección detallada	172
13.3.2.1. Medición de potencial de corrosión	172
13.3.2.2. Mediciones de velocidades de corrosión	172
13.4. Diagnóstico	173
13.4.1. Mecanismo de deterioro en función de la altura del elemento y del microclima	173
13.4.2. Comportamiento de reparaciones mal hechas	175
13.5. Acciones de reparación	175
13.5.1. Reparación utilizando diferentes tipos de imprimaciones	176
13.6. Comportamiento de la reparación durante los dos primeros meses de evaluación	177
13.7. Conclusiones	178
13.8. Recomendaciones	178
13.9. Agradecimientos	178
13.10. Referencias	178
Capítulo 14	
Deterioro y conservación en tuberías de concreto	181
14.1 Introducción	181
14.2 Caso 1.- Fallas por corrosión en tuberías de concreto reforzado del acueducto Río Colorado - Tijuana	180
14.2.1 Resumen	180
14.2.2 Metodología	181
14.2.2.1 Ensayos electroquímicos para determinar la velocidad de corrosión.	181
14.2.2.2 Soluciones utilizadas para simular el comportamiento corrosivo del concreto reforzado con acero utilizado en el ARCT	181
14.2.2.3 Análisis de superficies por microscopía de barrido electrónico (MEB)	181
14.2.2.4 Aislamiento y caracterización de microorganismos inductores de corrosión.	182
14.2.3 Resultados y Discusión	183
14.2.3.1 Ensayos electroquímicos de corrosión	183
14.2.3.2 Análisis de superficies por microscopía electrónica de barrido y microsonda de rayos X	186
14.2.3.3 Análisis microbiológicos	186
14.2.3.4 Conclusiones.	187
14.2.3.5 Recomendaciones para el sistema de protección catódica de las tuberías de concreto del ARCT	187
14.3 Caso 2.- Corrosión microbiológicamente inducida en el refuerzo de acero de tuberías de concreto conductoras de aguas negras	187
14.3.1 Resumen	187
14.3.2 Introducción	187
14.3.3 Metodología experimental	188
14.3.4 Resultados	189
14.3.5 Conclusiones	191
14.3.6 Recomendaciones	192
Referencias	193
Relación de instituciones educativas y de investigación, empresas privadas y dependencias gubernamentales del área de concreto	197