

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 coulóstática	34
3.4 Técnica electroquímica de corriente alterna	35

3.4.1 Impedancia electroquímica o impedancia faradéica	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

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

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

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, R_p)	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

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

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

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 Rampas de acceso	163
12.7 Conclusiones	163
Referencias	163

Capítulo 13

Deterioro y conservación en edificios de ambiente marino

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