

# Índice

<b>Prólogo</b> .....	15
<b>Presentación</b> .....	19
<b>Perfil académico de los autores</b> .....	23
<b>Capítulo I. Transcendencia de la corrosión atmosférica marina del acero al carbono</b> .....	27
<b>Capítulo II. Conceptos básicos sobre corrosión atmosférica</b> .....	33
1. Corrosión metálica .....	33
2. Corrosión atmosférica .....	35
2.1. Efecto de la contaminación atmosférica .....	40
2.2. Cinética del proceso de corrosión atmosférica .....	50
2.3. Clasificación de la agresividad atmosférica .....	53
2.4. Mapas de corrosividad atmosférica .....	55
<b>Capítulo III. La experimentación en corrosión atmosférica marina</b> ...	61
1. Ensayos de corrosión acelerada .....	61
2. Estudios de laboratorio .....	63
3. Estudios de campo .....	64
4. Análisis de los productos de corrosión .....	70
4.1. Difracción de rayos X .....	73
4.2. Espectroscopía infrarroja .....	74
4.3. Espectroscopía Mössbauer .....	75
4.4. Espectroscopía Raman .....	76
4.5. Otras técnicas avanzadas .....	77
5. Estudio de las capas de herrumbre .....	77
5.1. Microscopía óptica .....	77
5.2. Microscopía electrónica de barrido .....	78
5.3. Porosidad de las capas de herrumbre .....	79
<b>Capítulo IV. La atmósfera marina</b> .....	83
1. El aerosol marino .....	84

2. Producción del aerosol marino .....	86
3. Arrastre del aerosol marino .....	88
4. Efecto de la salinidad atmosférica en la corrosión del acero al carbono .....	93
5. Variación de la corrosión del acero con la distancia a la costa .....	99
6. Medida de la salinidad atmosférica .....	100
7. La atmósfera en la proximidad de los lagos salados .....	105
8. Las sales de deshielo .....	105
<b>Capítulo V. Productos de corrosión atmosférica del acero al carbono ..</b>	<b>111</b>
1. Naturaleza de los productos de corrosión .....	111
2. Formación de los productos de corrosión .....	114
3. Textura de los productos de corrosión .....	116
4. Estructura general de los productos de corrosión .....	119
5. Morfología de los productos de corrosión .....	122
6. Productos cristalinos de corrosión .....	129
6.1. Lepidocrocita ( $\gamma$ -FeOOH) .....	130
6.2. Goetita ( $\alpha$ -FeOOH) .....	130
6.3. Akaganeita ( $\beta$ -FeOOH, $\beta$ -FeO (OH, Cl)) .....	131
6.4. Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) / Maghemita ( $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) .....	143
7. Productos amorfos de corrosión .....	149
7.1. GR1 .....	150
7.2. Feroxihita ( $\delta$ -FeOOH) .....	152
7.3. Ferrihidrita ( $\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) .....	152
<b>Capítulo VI. La capa de herrumbre .....</b>	<b>163</b>
1. Propiedades organolépticas .....	164
1.1. Color .....	164
1.2. Textura .....	166
2. Propiedades relacionadas con la capacidad protectora de la capa de herrumbre .....	167
2.1. Estratificación de las capas de herrumbre .....	167
2.2. Estabilización de las capas de herrumbre .....	168
2.3. Adherencia .....	171
2.4. Espesor .....	172
2.5. Porosidad .....	179
3. Índices para evaluar la capacidad protectora de las capas de herrumbre .....	187

<b>Capítulo VII. Mecanismos de corrosión atmosférica del acero</b>	
<b>al carbono</b> . . . . .	191
1. Consideraciones previas . . . . .	191
1.1. Tiempo de humectación (TDH) . . . . .	191
1.2. Duración del período de exposición . . . . .	192
1.3. Temperatura ambiente . . . . .	195
1.4. Exposición bajo cubierta . . . . .	196
1.5. Orientación de la superficie metálica . . . . .	197
1.6. Condiciones iniciales de exposición . . . . .	198
2. Evolución del conocimiento sobre los mecanismos de corrosión atmosférica del acero al carbono . . . . .	199
2.1. Vernon (1927-1935) . . . . .	199
2.2. Barton <i>et al.</i> (1957-1971) . . . . .	200
2.3. Horton (1964) . . . . .	201
2.4. Evans <i>et al.</i> (1965-1970) . . . . .	202
2.5. Misawa (1971-1974) . . . . .	204
2.6. Stratmann (1983-1994) . . . . .	205
2.7. Dillmann (2004-2014) . . . . .	206
3. Mecanismos de corrosión atmosférica del acero al carbono en atmósferas marinas . . . . .	208
3.1. Primeras investigaciones . . . . .	208
3.2. El papel fundamental de la akaganeita . . . . .	211
3.3. Etapas iniciales en el proceso de corrosión atmosférica marina . . . . .	214
3.4. Formación de productos de corrosión . . . . .	217
3.5. Constitución de la capa de herrumbre . . . . .	221
4. Una visión global sobre el proceso de corrosión del acero al carbono en atmósferas marinas . . . . .	225
4.1. Formación de productos de corrosión . . . . .	225
4.2. Constitución de la capa de herrumbre. . . . .	231
 <b>Capítulo VIII. Atmósferas costeras industriales</b> . . . . .	 255
1. Introducción . . . . .	255
1.1. Estudios de campo . . . . .	256
1.2. Estudios de laboratorio . . . . .	260
2. Comentarios finales . . . . .	263

<b>Capítulo IX. Corrosión atmosférica de bienes históricos y arqueológicos de hierro contaminados con cloruros</b>	265
1. Introducción	265
2. Degradación de bienes históricos de hierro	265
2.1. Pieza de hierro perteneciente a una piedra clave del castillo de Larrazet, Francia	266
2.2. Soportes de hierro de unas vidrieras de la catedral de Sevilla (s. XV)	267
2.3. Dispositivo de sujeción (abrazadera) en la catedral de Amiens (s. XV)	267
2.4. Diversos monumentos históricos (0-800 años) en Francia	268
2.5. Cañones (s. XVIII) expuestos a una atmósfera costera de Brasil	269
2.6. Cadena de hierro del triforio de la catedral de Amiens (Francia)	269
3. Corrosión de bienes arqueológicos enterrados o sumergidos en agua de mar	271
3.1. Mecanismo general de corrosión del hierro	271
3.2. Mecanismos de corrosión cuando el resto arqueológico se extrae y entra en contacto con la atmósfera	274
3.3. Aspectos a considerar en la conservación de restos arqueológicos	277

<b>Capítulo X. Comportamiento a medio y largo plazo del acero al carbono expuesto a atmósferas marinas</b>	285
1. Cinética del proceso de formación de herrumbre sobre acero al carbono	285
2. La corrosión atmosférica del acero al carbono durante el primer año de exposición	288
3. La corrosión atmosférica a largo plazo del acero al carbono	292
3.1. Naturaleza de los productos de corrosión formados	293
3.2. La función de potencia $C = At^n$ : un modelo altamente utilizado	293
3.3. Otros modelos para la evolución de la corrosión atmosférica del acero al carbono con el tiempo de exposición	302
3.4. Funciones de daño (dosis-respuesta)	306
4. Hacia una estimación de la corrosión atmosférica marina del acero al carbono a partir de registros existentes sobre parámetros ambientales	307

4.1. Tiempo de humectación (TDH) .....	308
4.2. Velocidad de depósito de cloruros .....	310

## **Capítulo XI. Los aceros patinables: aceros al carbono**

<b>de mayor resistencia a la corrosión atmosférica .....</b>	<b>317</b>
1. Introducción .....	317
2. Definición .....	318
3. Desarrollo histórico .....	319
4. Requerimientos para la formación de capas protectoras de herrumbre sobre acero patinable .....	322
5. Efecto de los elementos aleantes .....	323
5.1. Fósforo .....	324
5.2. Cobre .....	325
5.3. Cromo .....	327
5.4. Níquel .....	329
6. Datos de corrosión atmosférica de los aceros patinables tipo Corten .....	330
6.1. Estabilización (estado estacionario) de las capas de herrumbre .....	331
6.2. Efecto de las condiciones de diseño durante la exposición ....	332
6.3. Efecto de las condiciones ambientales durante la exposición ..	335
6.4. Estimación de la corrosión a largo plazo .....	342
7. Evolución del conocimiento científico sobre los aceros patinables ..	348
7.1. Principales contribuciones .....	348
7.2. El papel de los elementos aleantes .....	359
8. Diseño de nuevos aceros patinables sobre bases científicas .....	363
8.1. Atmósferas no marinas .....	365
8.2. Atmósferas marinas .....	368