

# **CORROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE MATERIALES**

PROYECTO EDITORIAL  
BIBLIOTECA DE QUÍMICAS

Director:  
*Carlos Seoane Prado*  
Catedrático de Química Orgánica  
Universidad Complutense de Madrid



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos ([www.cedro.org](http://www.cedro.org)) vela por el respeto de los citados derechos.

# CORROSIÓN Y DEGRADACIÓN DE MATERIALES

Enrique Otero Huerta

*Segunda edición corregida y ampliada*



EDITORIAL  
SINTESIS

Consulte nuestra página web: [www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)  
En ella encontrará el catálogo completo y comentado

Segunda edición corregida y ampliada: febrero 2012

© Enrique Otero Huerta

© EDITORIAL SÍNTESIS, S.A.  
Vallehermoso, 34 - 28015 Madrid  
Teléf.: (91) 593 20 98  
<http://www.sintesis.com>

Depósito Legal: M. 6.682-2012  
ISBN: 978-84-773851-8-9

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S.A.

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| PRESENTACIÓN .....  | 15 |
| 1. EL PROBLEMA DE LA CORROSIÓN. CARACTERÍSTICAS<br>Y CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CORROSIÓN ..... | 19 |
| 1.1. Definición de corrosión .....  | 20 |
| 1.2. Pérdidas económicas originadas por la corrosión .....  | 20 |
| 1.3. Algunas reflexiones sobre la enseñanza de la corrosión y degradación de materiales .....         | 22 |
| 1.4. Un poco de historia .....  | 24 |
| 1.5. Clasificación y características de los distintos procesos de corrosión .....                     | 26 |
| 1.5.1. Clasificación según la morfología del ataque .....   | 26 |
| 1.5.2. Clasificación según el mecanismo .....   | 29 |
| Cuestiones .....  | 32 |
| Bibliografía .....  | 32 |
| 2. CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA .....   | 33 |
| 2.1. Introducción .....   | 34 |
| 2.2. Equivalencia entre un metal que sufre corrosión y una pila en cortocircuito .....                | 34 |
| 2.3. La reacción catódica .....   | 36 |
| 2.4. Mecanismo de corrosión en los metales ultrapuros .....   | 37 |
| 2.5. Aspectos termodinámicos de la corrosión electroquímica .....                                     | 38 |
| 2.6. Medida de potenciales .....  | 42 |
| 2.7. Electrodo de referencia .....  | 42 |
| 2.7.1. Electrodo de calomelanos .....   | 42 |
| 2.7.2. Electrodo de plata-cloruro de plata .....  | 42 |
| 2.7.3. Electrodo de cobre-sulfato de cobre .....  | 43 |
| 2.8. Otros aspectos termodinámicos de la corrosión electroquímica. Diagramas de Pourbaix ....         | 43 |
| Cuestiones .....  | 46 |
| Bibliografía .....  | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 3. PILAS DE CORROSIÓN .....   | 49 |
| 3.1. Introducción .....   | 50 |
| 3.2. Heterogeneidades en la fase metálica .....   | 50 |
| 3.2.1. Los límites de grano .....   | 50 |
| 3.2.2. Orientación de los granos .....  | 51 |
| 3.2.3. Dislocaciones emergentes .....   | 52 |
| 3.2.4. Regiones del metal deformado en frío .....   | 52 |
| 3.2.5. Regiones del metal bajo tensión externa .....  | 53 |
| 3.2.6. Segregaciones .....  | 53 |
| 3.2.7. Fases dispersas en la matriz metálica de diferente composición química que ésta .....  | 55 |
| 3.2.8. Partículas contaminantes de la superficie .....  | 56 |
| 3.2.9. Discontinuidades en películas que cubren el metal .....  | 56 |
| 3.3. Heterogeneidades del medio .....   | 56 |
| 3.3.1. Pilas de concentración iónica o salina .....   | 57 |
| 3.3.2. Pilas de aireación diferencial .....   | 59 |
| 3.4. Heterogeneidades de las condiciones físicas .....  | 59 |
| 3.4.1. Diferencias de temperatura .....   | 60 |
| 3.4.2. Diferencias de potencial debidas a la presencia de un campo eléctrico externo actuando sobre el metal .....  | 60 |
| Cuestiones .....  | 60 |
| Bibliografía .....  | 61 |
| 4. CINÉTICA DE CORROSIÓN. FENÓMENOS DE POLARIZACIÓN .....   | 63 |
| 4.1. Introducción .....   | 64 |
| 4.2. Fenómenos de polarización .....  | 64 |
| 4.2.1. Polarización de concentración o difusión .....   | 68 |
| 4.2.2. Polarización de resistencia .....  | 69 |
| 4.2.3. Polarización de activación .....   | 70 |
| 4.3. Características generales de las curvas de polarización anódica en procesos de corrosión ..  | 72 |
| 4.4. Características generales de las curvas de polarización catódica en procesos de corrosión ..   | 73 |
| 4.4.1. Reacción de reducción de oxígeno .....   | 74 |
| 4.4.2. Reacción de reducción de protones .....  | 76 |
| 4.5. Algunas precisiones sobre la obtención experimental de las curvas de polarización y sobre la medida de la $I_{\text{corr}}$ por métodos de corriente continua .....                    | 77 |
| Cuestiones .....  | 79 |
| Bibliografía .....  | 80 |
| 5. DIAGRAMAS DE EVANS .....   | 81 |
| 5.1. Introducción .....   | 82 |
| 5.2. Influencia de distintas variables sobre la cinética de corrosión de materiales metálicos que operan en medios aireados a pH neutro o alcalino y en ausencia de oxidantes fuertes ..... | 84 |
| 5.2.1. Influencia de la velocidad de desplazamiento del electrólito sobre la superficie metálica ..   | 85 |
| 5.2.2. Influencia de la relación de áreas ánodo/cátodo .....  | 87 |
| 5.2.3. Influencia de la presencia de oxidantes más fuertes que el oxígeno .....   | 88 |
| 5.3. Influencia de distintas variables sobre la cinética de corrosión de metales que operan en medio ácido .....  | 88 |
| 5.3.1. Influencia del pH .....  | 89 |
| 5.3.2. Influencia de la sobretensión para la descarga de hidrógeno .....  | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.3.3. Influencia de la presencia de aniones capaces de formar complejos estables con el catión metálico .....   | 91  |
| 5.4. Influencia de distintos factores sobre la curva de polarización anódica y sobre la cinética de corrosión .....  | 92  |
| Cuestiones .....   | 93  |
| Bibliografía .....   | 93  |
| <br>   |     |
| 6. PASIVACIÓN .....  | 95  |
| 6.1. Introducción .....  | 96  |
| 6.2. Mecanismos de pasivación .....  | 97  |
| 6.3. Características de la curva de polarización anódica en materiales metálicos pasivables .....  | 98  |
| 6.4. Concepto de potencial de Flade ( $E_p$ ) .....  | 100 |
| 6.5. Pasivación en condiciones reales de operación. Selección de materiales metálicos resistentes a la corrosión electroquímica .....  | 101 |
| 6.6. Influencia de algunas variables sobre las características de las curvas de pasivación .....   | 102 |
| 6.7. Repasivación .....  | 104 |
| 6.8. Rotura local de la película pasiva .....  | 106 |
| Cuestiones .....   | 106 |
| Bibliografía .....   | 107 |
| <br>   |     |
| 7. CORROSIÓN GALVÁNICA .....   | 109 |
| 7.1. Introducción .....  | 110 |
| 7.2. Extensión de la pila galvánica .....  | 112 |
| 7.3. Factores que influyen en la cinética de corrosión en fenómenos de corrosión galvánica .....   | 112 |
| 7.3.1. El nivel de polarización de la reacción catódica .....  | 113 |
| 7.3.2. La relación de áreas ánodo-cátodo .....   | 113 |
| 7.3.3. Posible presencia de películas estables de productos oxidados sobre las superficies anódica y/o catódica .....  | 114 |
| 7.4. Fenómenos de corrosión galvánica derivados de aspectos microestructurales .....   | 115 |
| 7.4.1. Aleaciones de aluminio endurecidas por precipitación .....  | 116 |
| 7.4.2. Fenómenos de “descincificación” en latones .....  | 117 |
| 7.4.3. Fenómenos de “grafitización” en fundiciones grises .....  | 119 |
| 7.4.4. Fenómenos de “cementización” en aceros al carbono .....   | 119 |
| 7.4.5. Ataque selectivo sobre la martensita en aceros al carbono .....   | 119 |
| 7.4.6. Ataque selectivo sobre la ferrita en microestructuras constituidas por austenita y ferrita presentes en el cordón de soldadura de aceros inoxidable austeníticos..... | 120 |
| 7.4.7. Ataque en límite de grano en aceros inoxidable sensibilizados .....   | 120 |
| 7.5. Protección catódica por ánodos de sacrificio .....  | 121 |
| 7.6. Series galvánicas .....   | 122 |
| 7.7. Inversión de polaridad .....  | 123 |
| Cuestiones .....   | 124 |
| Bibliografía .....   | 125 |
| <br>   |     |
| 8. CORROSIÓN EN RESQUICIO. CORROSIÓN FILIFORME .....   | 127 |
| 8.1. Introducción .....  | 128 |
| 8.2. Mecanismo de la corrosión en resquicio .....  | 128 |
| 8.3. Influencia de la geometría de la cavidad .....  | 130 |
| 8.4. Algunos casos típicos de corrosión en resquicio y sus consecuencias .....   | 131 |

|  |     |
|--|-----|
| 8.4.1. Corrosión en resqueio en materiales metálicos expuestos a la atmósfera .....  | 131 |
| 8.4.2. Deformaciones originadas por los productos de corrosión generados en el resqueio ..   | 131 |
| 8.4.3. Corrosión de materiales pulvimetalúrgicos .....   | 132 |
| 8.5. Corrosión filiforme .....   | 133 |
| 8.5.1. Introducción .....  | 133 |
| 8.5.2. Mecanismo de la corrosión filiforme .....   | 133 |
| 8.6. Evaluación de fenómenos de corrosión en resqueio .....  | 136 |
| 8.7. Prevención de fenómenos de corrosión en resqueio .....  | 138 |
| Cuestiones .....   | 139 |
| Bibliografía .....   | 140 |
| <br>   |     |
| 9. CORROSIÓN POR PICADURA .....  | 141 |
| 9.1. Introducción .....  | 142 |
| 9.2. Factores que propician el inicio o incubación de la picadura .....  | 142 |
| 9.2.1. Factores macroscópicos .....  | 142 |
| 9.2.2. Factores microscópicos .....  | 143 |
| 9.3. Mecanismo de progreso de la picadura .....  | 144 |
| 9.4. Potencial de picadura .....   | 146 |
| 9.4.1. Factores que afectan al potencial de picadura .....   | 147 |
| 9.4.2. Concepto de potencial de picadura .....   | 150 |
| 9.5. Evaluación de la susceptibilidad a la corrosión por picadura .....  | 152 |
| 9.5.1. Métodos químicos .....  | 152 |
| 9.5.2. Métodos electroquímicos .....   | 153 |
| 9.6. Desarrollo y manejo del concepto de potencial de picadura .....   | 154 |
| 9.6.1. Aplicación al caso de corrosión por picadura de aleaciones Al-Cu endurecidas<br>por precipitación .....                                   | 154 |
| 9.6.2. Aplicación al caso de aceros inoxidable. Diseño de nuevos aceros inoxidable<br>austeníticos resistentes a la corrosión por picadura ..... | 157 |
| Cuestiones .....   | 160 |
| Bibliografía .....   | 160 |
| <br>   |     |
| 10. CORROSIÓN INTERGRANULAR .....  | 161 |
| 10.1. Introducción .....   | 162 |
| 10.2. Teorías básicas sobre la sensibilización a la corrosión intergranular .....  | 162 |
| 10.2.1. Zona empobrecida en cromo .....  | 162 |
| 10.2.2. Tensiones internas en la interfase .....   | 164 |
| 10.2.3. Efecto electroquímico .....  | 165 |
| 10.3. Factores que influyen en la cinética de precipitación de los carburos .....  | 165 |
| 10.4. Relación entre temperatura y tiempo para la sensibilización. Diagramas T-t-s .....   | 166 |
| 10.5. Influencia de otras variables sobre la sensibilización a la corrosión intergranular .....  | 168 |
| 10.5.1. Influencia de la composición .....   | 168 |
| 10.5.2. Influencia del tamaño de grano austenítico .....   | 170 |
| 10.5.3. Influencia del grado de acritud .....  | 172 |
| 10.5.4. Influencia de la estequiometría del carburo precipitado .....  | 174 |
| 10.6. Procedimientos para reducir el riesgo de sensibilización a la corrosión intergranular .....  | 175 |
| 10.7. Ensayos para determinar la sensibilización a la corrosión intergranular en aceros<br>inoxidable austeníticos .....                         | 176 |
| 10.7.1. Ensayos químicos .....   | 176 |
| 10.7.2. Comparación entre los ensayos químicos descritos .....   | 177 |
| 10.7.3. Ensayos electroquímicos .....  | 180 |
| Cuestiones .....   | 182 |
| Bibliografía .....   | 182 |



|   |     |
|---|-----|
| 11. ACCIÓN CONJUNTA DE FACTORES ELECTROQUÍMICOS Y MECÁNICOS .....   | 183 |
| 11.1. Introducción .....  | 184 |
| 11.2. Corrosión-fricción .....  | 84  |
| 11.2.1. Mecanismo de la corrosión-fricción .....  | 184 |
| 11.2.2. Casos típicos en que aparece el fenómeno de corrosión-fricción .....  | 186 |
| 11.2.3. Recomendaciones para la prevención de fenómenos de corrosión-fricción .....   | 186 |
| 11.3. Corrosión-erosión .....   | 187 |
| 11.3.1. Recomendaciones para prevenir fenómenos de corrosión-erosión .....  | 190 |
| 11.4. Corrosión-cavitación .....  | 191 |
| 11.4.1. Mecanismo de la corrosión-cavitación .....  | 191 |
| 11.4.2. Recomendaciones para la prevención de fenómenos de corrosión-cavitación .....   | 192 |
| Cuestiones .....  | 193 |
| Bibliografía .....  | 193 |
| <br>  |     |
| 12. CORROSIÓN BAJO TENSIÓN .....  | 195 |
| 12.1. Introducción .....  | 196 |
| 12.2. Mecanismo del proceso de corrosión bajo tensión .....   | 197 |
| 12.2.1. Etapa de incubación de la grieta .....  | 197 |
| 12.2.2. Etapa de desarrollo de la grieta .....  | 201 |
| 12.3. Fenómenos de agrietamiento por corrosión bajo tensión en aleaciones de interés industrial ...   | 207 |
| 12.4. Métodos electroquímicos de valoración de la susceptibilidad a la corrosión bajo tensión ...   | 209 |
| 12.5. Procedimientos para reducir el riesgo de agrietamiento por corrosión bajo tensión .....   | 210 |
| Cuestiones .....  | 211 |
| Bibliografía .....  | 211 |
| <br>  |     |
| 13. CORROSIÓN-FATIGA .....  | 213 |
| 13.1. Introducción .....  | 214 |
| 13.2. Mecanismo del proceso de corrosión-fatiga .....   | 217 |
| 13.3. Fenómenos de corrosión-fatiga térmica .....   | 218 |
| 13.4. Aspectos básicos para el diagnóstico de fenómenos de corrosión-fatiga .....   | 219 |
| 13.5. Medidas de prevención y protección contra fenómenos de corrosión-fatiga .....   | 220 |
| 13.5.1. Disminución del nivel tensional .....   | 220 |
| 13.5.2. Modificación del medio agresivo .....   | 221 |
| 13.5.3. Selección adecuada del material metálico .....  | 222 |
| 13.5.4. Empleo de inhibidores o recubrimientos .....  | 222 |
| Cuestiones .....  | 222 |
| Bibliografía .....  | 223 |
| <br>  |     |
| 14. FRAGILIZACIÓN POR HIDRÓGENO .....   | 225 |
| 14.1. Introducción .....  | 226 |
| 14.2. Mecanismo del fragilización por hidrógeno .....   | 226 |
| 14.3. Agrietamiento por fragilización por hidrógeno en diferentes medios .....  | 230 |
| 14.3.1. Fragilización por hidrógeno en presencia de soluciones alcalinas concentradas .....   | 230 |
| 14.3.2. Fragilización por hidrógeno en presencia de ácido sulfhídrico .....   | 230 |
| 14.4. Aspectos a considerar para la identificación de fenómenos de fragilización por hidrógeno.<br>Factores diferenciales respecto a procesos de corrosión bajo tensión ..... | 231 |

|   |            |
|---|------------|
| Cuestiones .....  | 232        |
| Bibliografía .....  | 232        |
| <b>15. CORROSIÓN EN CONTACTO CON LOS MEDIOS NATURALES .....</b>   | <b>233</b> |
| 15.1. Introducción .....  | 234        |
| 15.2. Corrosión atmosférica .....   | 234        |
| 15.2.1. Formación de la película de humedad sobre la superficie expuesta .....  | 234        |
| 15.2.2. Mecanismo de la corrosión atmosférica .....   | 235        |
| 15.2.3. Influencia de distintos factores sobre la velocidad de corrosión de los materiales metálicos en contacto con la atmósfera ..... | 235        |
| 15.2.4. Predicción de datos de corrosión atmosférica .....  | 239        |
| 15.2.5. Métodos de protección contra la corrosión atmosférica .....   | 240        |
| 15.3. Corrosión en contacto con agua dulce .....  | 241        |
| 15.3.1. Factores que influyen en el nivel de agresividad del agua dulce .....   | 242        |
| 15.3.2. Recomendaciones para reducir el riesgo de corrosión de materiales metálicos en contacto con agua dulce .....                    | 245        |
| 15.4. Corrosión marina .....  | 245        |
| 15.4.1. Influencia de la profundidad a la que se sitúa el material metálico .....   | 246        |
| 15.4.2. Incrustaciones .....  | 247        |
| 15.5. Corrosión de materiales metálicos enterrados .....  | 247        |
| 15.5.1. Reacciones de corrosión en contacto con el suelo .....  | 247        |
| 15.5.2. Características del suelo como medio agresivo .....   | 248        |
| 15.5.3. Mecanismos de corrosión por micro y por macropilas .....  | 249        |
| 15.5.4. Fenómenos de corrosión originados por corrientes vagabundas o erráticas .....   | 250        |
| 15.5.5. Fenómenos de corrosión por picadura en estructuras metálicas enterradas .....   | 252        |
| Cuestiones .....  | 253        |
| Bibliografía .....  | 253        |
| <b>16. CORROSIÓN MICROBIOLÓGICA .....</b>   | <b>255</b> |
| 16.1. Introducción .....  | 256        |
| 16.2. Influencia del “biofouling” en los procesos de corrosión electroquímica .....   | 256        |
| 16.3. Principales microorganismos que participan en los fenómenos de corrosión microbiiológica ....                                     | 258        |
| 16.3.1. Algas .....   | 258        |
| 16.3.2. Hongos .....  | 259        |
| 16.3.3. Bacterias .....   | 259        |
| 16.4. Procedimientos de protección contra la corrosión microbiiológica .....  | 261        |
| Cuestiones .....  | 262        |
| Bibliografía .....  | 262        |
| <b>17. CORROSIÓN EN CONTACTO CON HORMIGÓN .....</b>   | <b>263</b> |
| 17.1. Introducción .....  | 264        |
| 17.2. Consecuencias de la corrosión de las armaduras del hormigón armado .....  | 265        |
| 17.3. Factores desencadenantes de la corrosión de las armaduras de acero en contacto con hormigón ...                                   | 266        |
| 17.3.1. Carbonatación del hormigón .....  | 266        |
| 17.3.2. Presencia de anión cloruro .....  | 267        |
| 17.3.3. Formación de pilas de aireación diferencial .....   | 269        |
| 17.3.4. Presencia de corrientes vagabundas .....  | 269        |
| 17.3.5. Otros factores aceleradores de la corrosión .....   | 269        |

|  |            |
|--|------------|
| 17.4. Recomendaciones básicas para reducir el riesgo de deterioro por corrosión de estructuras de hormigón armado .....  | 271        |
| Cuestiones .....   | 273        |
| Bibliografía .....   | 274        |
| <b>18. CORROSIÓN A ALTA TEMPERATURA .....</b>  | <b>275</b> |
| 18.1. Introducción .....   | 276        |
| 18.2. Aspectos termodinámicos .....  | 276        |
| 18.3. Mecanismo básico de formación del óxido .....  | 278        |
| 18.4. Atmósferas constituidas por mezclas de gases .....   | 279        |
| Cuestiones .....   | 281        |
| Bibliografía .....   | 281        |
| <b>19. CINÉTICA DE CORROSIÓN A ALTA TEMPERATURA .....</b>  | <b>283</b> |
| 19.1. Introducción .....   | 284        |
| 19.2. Variables que influyen en la ley cinética .....  | 285        |
| 19.3. Influencia de la temperatura en la ley cinética .....  | 285        |
| 19.4. Influencia de las características físico-mecánicas de la película de óxido en la ley cinética ..   | 287        |
| 19.5. Influencia de las características estequiométricas y electrónicas de la película de óxido en la ley cinética .....   | 290        |
| 19.5.1. Óxidos tipo p .....  | 290        |
| 19.5.2. Óxidos tipo n .....  | 294        |
| 19.6. Diseño y selección de materiales metálicos resistentes a la corrosión a temperatura elevada ...  | 296        |
| 19.7. Ejemplo de aplicación: mejora del comportamiento a oxidación del acero inoxidable AISI 304 por incorporación de óxido de lantano a la capa de productos oxidados ..... | 297        |
| Cuestiones .....   | 298        |
| Bibliografía .....   | 299        |
| <b>20. CORROSIÓN POR SALES FUNDIDAS .....</b>  | <b>301</b> |
| 20.1. Introducción .....   | 302        |
| 20.2. Secuencia del proceso de corrosión catastrófica .....  | 304        |
| 20.2.1. Etapa de iniciación .....  | 304        |
| 20.2.2. Etapa de propagación .....   | 306        |
| 20.3. Corrosión catastrófica en procesos industriales .....  | 309        |
| 20.3.1. Turbinas de gas y cámaras de combustión .....  | 309        |
| 20.3.2. Incineradoras de residuos .....  | 312        |
| 20.3.3. Pilas de combustible .....   | 313        |
| 20.4. Procedimientos para reducir el riesgo de corrosión en presencia de sales fundidas .....  | 314        |
| Cuestiones .....   | 315        |
| Bibliografía .....   | 316        |
| <b>21. PROBLEMAS DE CORROSIÓN A ALTA TEMPERATURA EN LA INDUSTRIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA .....</b>  | <b>317</b> |
| 21.1. Introducción .....   | 318        |
| 21.2. Problemas de corrosión a alta temperatura en centrales térmicas .....  | 318        |
| 21.2.1. Corrosión por el exterior. Zonas a temperaturas moderadas .....  | 318        |
| 21.2.2. Corrosión por el exterior. Problemas de corrosión en contacto con los gases de combustión o con sales fundidas (zonas de alta temperatura) .....                     | 319        |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 21.2.3. | Métodos de protección contra este tipo de corrosión .....   | 321 |
| 21.2.4. | Corrosión por el interior .....   | 321 |
| 21.2.5. | Recomendaciones para el acondicionamiento de la instalación antes de su entrada en servicio .....                         | 324 |
| 21.2.6. | Recomendaciones para evitar la corrosión durante las paradas de la instalación ....                                       | 324 |
| 21.2.7. | Recomendaciones para reducir el riesgo de corrosión después de formada la capa de magnetita .....                         | 325 |
| 21.3.   | Problemas de corrosión a alta temperatura de materiales metálicos empleados específicamente en la industria nuclear ..... | 326 |
| 21.3.1. | Comportamiento frente a la corrosión del circonio .....   | 326 |
| 21.3.2. | Comportamiento frente a la corrosión de las aleaciones de base circonio. Zircalloys .....                                 | 327 |
|         | Cuestiones .....  | 330 |
|         | Bibliografía .....  | 330 |
| 22.     | ALEACIONES RESISTENTES A LA CORROSIÓN .....   | 331 |
| 22.1.   | Introducción .....  | 332 |
| 22.2.   | Aleaciones resistentes a la corrosión en torno al sistema ternario Fe-Cr-Ni .....   | 332 |
| 22.2.1. | Aspectos microestructurales .....   | 332 |
| 22.2.2. | Aceros inoxidables .....  | 340 |
| 22.2.3. | Comportamiento de aleaciones en torno al sistema Fe-Cr-Ni a alta temperatura ...  | 350 |
| 22.3.   | Aleaciones de base cobre resistentes a la corrosión .....   | 355 |
| 22.3.1. | Cobre .....   | 355 |
| 22.3.2. | Latones .....   | 356 |
| 22.3.3. | Bronces .....   | 356 |
| 22.3.4. | Aleaciones Cu-Ni, Cu-Al y Cu-Be .....   | 358 |
| 22.4.   | Aleaciones ligeras resistentes a la corrosión .....   | 358 |
| 22.4.1. | Aluminio y sus aleaciones .....   | 358 |
| 22.4.2. | Magnesio y sus aleaciones .....   | 360 |
| 22.4.3. | Titanio y sus aleaciones .....  | 362 |
| 22.5.   | Materiales metálicos resistentes a la corrosión de desarrollo más reciente .....  | 364 |
| 22.5.1. | Aleaciones obtenidas por solidificación rápida. Vidrios metálicos .....   | 364 |
| 22.5.2. | Superalaciones para alta temperatura .....  | 367 |
| 22.5.3. | Recubrimientos para alta temperatura. Barreras térmicas .....   | 371 |
|         | Cuestiones .....  | 372 |
|         | Bibliografía .....  | 373 |
| 23.     | DEGRADACIÓN DE MATERIALES POLÍMEROS .....   | 375 |
| 23.1.   | Introducción .....  | 376 |
| 23.2.   | El polímero .....   | 376 |
| 23.3.   | Los agentes ambientales .....   | 376 |
| 23.3.1. | Agentes químicos .....  | 376 |
| 23.3.2. | Agentes o factores energéticos .....  | 377 |
| 23.4.   | Degradación termoxidativa o autoxidación .....  | 377 |
| 23.4.1. | Mecanismo de la termoxidación o autoxidación .....  | 379 |
| 23.4.2. | Principales factores que determinan la susceptibilidad de los polímeros a la autoxidación .....                           | 380 |
| 23.5.   | Biodegradación .....  | 381 |
| 23.5.1. | Principales agentes biológicos .....  | 381 |
| 23.5.2. | Biodegradación de polímeros sintéticos .....  | 382 |
| 23.6.   | Degradación térmica .....   | 382 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 23.7.   | Fotodegradación o fotooxidación .....  | 382 |
| 23.7.1. | Iniciación de la fotodegradación .....   | 383 |
| 23.7.2. | Propagación de la fotodegradación .....  | 383 |
| 23.7.3. | Terminación de la fotodegradación .....  | 383 |
| 23.7.4. | Fotoestabilizantes .....   | 384 |
| 23.8.   | Degradación mecánica .....   | 385 |
| 23.8.1. | Consecuencias del proceso de degradación mecánica de los materiales poliméricos ....                                 | 385 |
| 23.9.   | Resistencia a la degradación de distintos tipos de materiales poliméricos .....                                      | 387 |
| 23.9.1. | Termoplásticos .....   | 387 |
| 23.9.2. | Duroplásticos .....  | 390 |
| 23.9.3. | Elastómeros .....  | 391 |
| 23.10.  | Protección frente a la degradación de materiales poliméricos .....   | 393 |
|         | Cuestiones .....   | 394 |
|         | Bibliografía .....   | 395 |
| <br>    |  |     |
| 24.     | DEGRADACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS .....  | 397 |
| 24.1.   | Introducción .....   | 398 |
| 24.2.   | Consideraciones termodinámicas .....   | 399 |
| 24.2.1. | Materiales cerámicos oxídicos para contener metales fundidos .....   | 400 |
| 24.2.2. | Estabilidad en vacío y en atmósferas inertes .....   | 401 |
| 24.2.3. | Estabilidad en diferentes atmósferas .....   | 402 |
| 24.3.   | Aplicación de los diagramas de equilibrio de fases a los problemas de degradación de materiales cerámicos .....      | 404 |
| 24.4.   | Aspectos cinéticos .....   | 408 |
| 24.4.1. | Difusión molecular .....   | 409 |
| 24.4.2. | Convección libre y forzada bajo condiciones de flujo laminar .....   | 411 |
| 24.4.3. | Condiciones de flujo turbulento .....  | 416 |
| 24.5.   | Efecto de la transferencia de calor sobre la degradación de materiales cerámicos .....                               | 417 |
| 24.6.   | Efecto de la atmósfera sobre la degradación de materiales cerámicos .....  | 417 |
| 24.7.   | Mecanismos de degradación .....  | 418 |
| 24.8.   | Efecto de modificaciones en las condiciones de los procesos con el tiempo .....                                      | 419 |
| 24.9.   | Ensayos de degradación o corrosión .....   | 420 |
| 24.9.1. | Ensayo de reacción .....   | 420 |
| 24.9.2. | Ensayos de ataque estático .....   | 421 |
| 24.9.3. | Ensayos de ataque dinámico .....   | 421 |
| 24.10.  | Consideraciones finales .....  | 422 |
|         | Cuestiones .....   | 423 |
|         | Bibliografía .....   | 423 |
| <br>    |  |     |
| 25.     | CORROSIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS .....   | 425 |
| 25.1.   | Introducción .....   | 426 |
| 25.2.   | Fenómenos de corrosión en materiales compuestos de matriz metálica .....   | 426 |
| 25.3.   | Influencia de la composición y morfología del refuerzo en el comportamiento a corrosión del material compuesto ..... | 428 |
| 25.4.   | Influencia de posibles tratamientos térmicos en el comportamiento a corrosión del material compuesto .....           | 428 |
| 25.5.   | Fenómenos de corrosión a temperatura elevada de materiales compuestos .....  | 429 |
|         | Cuestiones .....   | 431 |
|         | Bibliografía .....   | 432 |