

Prólogo .....	11
<b>1. Introducción .....</b>	<b>15</b>
1.1. Combustibles fósiles y cambio climático .....	16
1.2. Una posible alternativa: las pilas de combustible .....	20
1.3. Historia de las pilas de combustible .....	20
1.4. ¿Qué es una pila de combustible? .....	25
1.5. Tipos de pilas .....	28
1.5.1. Pilas de combustible de membrana polimérica (PEMFC).....	30
1.5.2. Pilas de combustible alcalinas (AFC).....	32
1.5.3. Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC).....	32
1.5.4. Pilas de combustible de carbonato fundido (MCFC).....	33
1.5.5. Pilas de combustible de óxidos sólidos (SOFC).....	34
1.5.5.1. Características .....	35
1.5.5.2. Configuraciones.....	35
1.5.5.3. Pilas de cámara única (single chamber) .....	37
1.5.6. Nuevos tipos de pilas .....	38
1.6. ¿Hacia una economía del hidrógeno?.....	40
<b>2. Mecanismos de transporte iónico en materiales cerámicos .....</b>	<b>45</b>
2.1. Defectos cristalinos .....	46
2.2. Mecanismos de conducción iónica .....	48
2.3. Química de los defectos en la fluorita.....	50
2.3.1. Condiciones moderadamente reductoras.....	52
2.3.2. Condiciones muy reductoras.....	54
2.3.3. Condiciones oxidantes .....	55
2.4. Muestras policristalinas. Modelo de <i>Brick-layer</i> .....	56
2.5. Conducción en el límite de grano. Modelo de <i>Core-Space Charge Layer</i> .....	59
<b>3. Termodinámica de las pilas de combustible .....</b>	<b>67</b>
3.1. Potencial generado por una pila.....	68
3.2. Eficiencia de una pila .....	71
3.2.1. Eficiencia termodinámica.....	73
3.2.2. Eficiencia voltaica .....	73
3.2.3. Eficiencia faradaica.....	76
3.2.4. Eficiencia calorífica .....	76
3.3. Rendimiento de una pila.....	78
<b>4. Electrolito .....</b>	<b>81</b>
4.1. Óxido de zirconio, $ZrO_2$ .....	85
4.1.1. Influencia de la temperatura.....	87
4.1.2. Influencia de la atmósfera.....	87
4.1.3. Influencia de la frontera de grano.....	88

4.1.4.	Interacción química.....	89
4.1.5.	Expansión térmica .....	89
4.2.	Óxido de cerio, CeO <sub>2</sub> .....	89
4.3.	Electrolitos basados en δ-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y Bi <sub>4</sub> V <sub>2</sub> O <sub>11</sub> .....	92
4.4.	Otros conductores iónicos.....	94
4.4.1.	Perovskitas .....	94
4.4.2.	Pirocloros .....	96
4.4.3.	Brownmilleritas .....	96
4.4.4.	Apatitos .....	97
4.4.5.	La <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> O <sub>6</sub> y fases LAMOX.....	98
4.4.6.	Cuspidinas .....	99
4.5.	Conductores protónicos.....	100
<b>5.</b>	<b>Ánodo .....</b>	<b>105</b>
5.1.	Composites cerámico-metal: cermet de Ni-YSZ.....	110
5.1.1.	Preparación .....	113
5.1.2.	Estabilidad.....	114
5.1.3.	Conductividad eléctrica.....	115
5.1.4.	Interacción química.....	116
5.1.5.	Expansión térmica .....	116
5.2.	Materiales alternativos .....	117
5.2.1.	Cermets alternativos.....	117
5.2.2.	Materiales cerámicos .....	119
5.2.2.1.	<i>Derivados del óxido de cerio .....</i>	<i>119</i>
5.2.2.2.	<i>Derivados de las cromitas .....</i>	<i>120</i>
5.2.2.3.	<i>Derivados de los titanatos .....</i>	<i>121</i>
5.2.2.4.	<i>Otros óxidos .....</i>	<i>123</i>
<b>6.</b>	<b>Cátodo .....</b>	<b>127</b>
6.1.	Manganita de lantano, LaMnO <sub>3</sub> .....	131
6.1.1.	Preparación .....	132
6.1.2.	Propiedades generales .....	132
6.1.3.	Estabilidad.....	134
6.1.4.	Conductividad eléctrica.....	134
6.1.5.	Interacción química.....	137
6.1.6.	Expansión térmica .....	138
6.1.7.	Otras propiedades .....	138
6.2.	Cobaltita de lantano, LaCoO <sub>3</sub> .....	138
6.2.1.	Propiedades generales .....	139
6.3.	Cobalto-ferritas .....	140
6.4.	Otros materiales alternativos .....	141

<b>7. Interconectores</b> .....	<b>147</b>
7.1. Cromita de lantano, $\text{LaCrO}_3$ .....	<b>149</b>
7.1.1. Propiedades generales .....	<b>149</b>
7.1.2. Estabilidad .....	<b>150</b>
7.1.3. Conductividad eléctrica .....	<b>151</b>
7.1.4. Interacción química .....	<b>152</b>
7.1.5. Expansión térmica .....	<b>153</b>
7.1.6. Sinterabilidad .....	<b>153</b>
7.2. Materiales alternativos .....	<b>154</b>
<b>8. Materiales simétricos</b> .....	<b>159</b>
8.1. Cromitas de lantano .....	<b>160</b>
8.2. Titanatos de estroncio .....	<b>163</b>
<b>9. Combustibles</b> .....	<b>165</b>
9.1. Hidrógeno .....	<b>168</b>
9.1.1. Producción de hidrógeno .....	<b>170</b>
9.1.1.1. <i>Reformado de hidrocarburos</i> .....	<b>170</b>
9.1.1.2. <i>Gasificación de biomasa</i> .....	<b>170</b>
9.1.1.3. <i>Procesos termoquímicos</i> .....	<b>171</b>
9.1.1.4. <i>Producción fotobiológica</i> .....	<b>171</b>
9.1.1.5. <i>Producción por electrólisis</i> .....	<b>171</b>
9.1.2. Almacenamiento del hidrógeno .....	<b>172</b>
9.1.2.1. <i>Almacenamiento como hidrógeno líquido</i> .....	<b>173</b>
9.1.2.2. <i>Almacenamiento químico como sólido, líquido o gas</i> .....	<b>173</b>
9.1.2.3. <i>Hidruro de baja y alta temperatura</i> .....	<b>173</b>
9.1.2.4. <i>Hidrógeno comprimido</i> .....	<b>174</b>
9.1.2.5. <i>Métodos alternativos de almacenamiento</i> .....	<b>174</b>
9.1.3. ¿El hidrógeno como combustible ecológico? .....	<b>175</b>
9.2. Reformado de hidrocarburos .....	<b>176</b>
9.2.1. <i>Steam-reforming</i> (reformado por vapor de agua) .....	<b>177</b>
9.2.2. Oxidación directa de hidrocarburos .....	<b>178</b>
9.3. Reacción con sulfuro de hidrógeno .....	<b>179</b>
<b>10. Métodos de Síntesis</b> .....	<b>183</b>
10.1. Método cerámico .....	<b>185</b>
10.2. Métodos de sol-gel .....	<b>187</b>
10.3. Método de coprecipitación .....	<b>188</b>
10.4. Método de “spray-combustión” .....	<b>188</b>
10.5. Método de liofización .....	<b>188</b>

<b>11. Deposición de materiales</b> .....	<b>191</b>
11.1. Tape-casting y tape-calendaring .....	194
11.2. Screen-printing (serigrafía) .....	197
11.3. Spin-coating y dip-coating.....	197
11.4. Chemical Vapor Deposition (CVD).....	198
11.4. Electrochemical Vapor Deposition (EVD).....	199
11.6. Pulse Laser Deposition (PLD) .....	199
11.7. Magnetron sputtering.....	199
11.8. Plasma spray deposition .....	200
<b>12. Caracterización electroquímica</b> .....	<b>203</b>
12.1. Conductividad total.....	204
12.1.1. Espectroscopia de impedancia compleja .....	205
12.1.1.1. Ajuste con circuitos equivalentes .....	207
12.1.1.2. Otros métodos de análisis de medidas de impedancia .....	210
12.1.1.3. Medidas experimentales .....	211
12.1.1.4. Bondad de los datos experimentales: Transformadas de Kramers-Kronig.....	215
12.1.2. Método de Van der Pauw .....	216
12.2. Conductividad <i>vs.</i> presión parcial de oxígeno .....	217
12.3. Método de “ion-blocking” .....	221
12.4. Titulación coulombimétrica.....	224
12.5. Números de transporte (método de Gorelov).....	227
12.6. Permeabilidad.....	230
12.7. Resistencia de polarización. ....	233
12.7.1. Método de dos puntas. Atmósferas simétricas .....	233
12.7.2. Método de tres puntas. Atmósferas asimétricas .....	236
12.8. Rendimiento de una pila.....	237
12.9. Potencial de circuito abierto (OCV).....	239
<b>Apéndices</b> .....	<b>243</b>
I. Notación de Kröger-Vink.....	244
II. Tablas de Radios iónicos de sólidos .....	246
III. Coeficiente de expansión térmica de materiales típicos .....	248
IV. Bibliografía recomendada.....	249
<b>Símbolos, siglas y definiciones</b> .....	<b>251</b>