

Índice

Abreviaturas y Símbolos	I
Abreviaturas	I
Símbolos	III
Resumen	VII
Abstract	XI
Índice	XV
Capítulo 1	1
Introducción General	1
1. Introducción.....	1
1.1. Celdas de Combustibles.....	1
1.1.1 Algunos Conceptos Termodinámicos	3
1.1.2 Componentes, Funcionamiento y Características.....	7
1.2 Tipos de Celdas de Combustible	8
1.3 Celdas de Combustible de Óxido Sólido (SOFC)	12
1.3.1 Diseños de Celdas.....	12
1.3.2 Ánodos	14
1.3.3 Cátodos	15
1.3.4 Electrolitos	18
1.4 Motivaciones	25
Capítulo 2	29
Métodos y Dispositivos Experimentales	29
2.1 Introducción	29
2.2 Síntesis y Preparación de los Materiales	29
2.2.1 Método de Pechini Modificado	31
2.2.2 Reacción de Estado Sólido.....	32
2.2.3 Depósito de Películas Delgadas.....	32
2.3 Técnicas experimentales.....	33
2.3.1 Caracterización de Materiales	33
2.3.1.1 Difracción de Rayos X	33

2.3.1.2	Microscopía Electrónica de Barrido- Espectroscopia de Rayos X Dispersiva en Energía	38
2.3.2	Propiedades de los Materiales	42
2.3.2.1	Termogravimetría	42
2.3.2.2	Ensayo de Punzonado	43
2.3.2.3	Dilatometría	44
2.3.3	Conductividad Eléctrica	45
2.3.3.1	Conductividad de Cuatro Puntas.....	45
2.3.3.2	Espectroscopia de Impedancia Electroquímica	46
Capítulo 3	49
	<i>Estudio Mediante Difracción de Rayos X Anómala de los Ceratos de Bario Dopados con Pr</i>	49
3.1	Introducción	49
3.2	Fundamentos Teóricos.....	51
3.3	Disposición Experimental	56
3.4	Evaluación de la Ocupación de Pr en las Perovskitas.....	62
3.5	Efecto de la Ocupación de Pr en las Propiedades Electroquímicas	69
3.6	Conclusión.....	74
Capítulo 4	75
	<i>Caracterización Estructural, Mecánica, Termodinámica y Electroquímica de los Ceratos de Bario Dopados con Pr</i>	75
4.1	Introducción	75
4.2	Preparación y Caracterización de los Electrolitos	77
4.3	Estructura Cristalina	77
4.4	Microestructura	77
4.5	Propiedades Termodinámicas en Atmósferas Oxidantes y Reductoras	82
4.6	Tolerancia al CO ₂	86
4.7	Propiedades Mecánicas.....	88
4.8	Propiedades Eléctricas.....	92
4.8.1	Conductividad en aire	95

4.8.2	Conductividad en Hidrógeno.....	99
4.9	Conclusión.....	102
Capítulo 5.....		103
<i>Estudio de las Propiedades de Alta Temperatura del Compuesto</i>		
<i>BaCe_{0.8}Pr_{0.2}O_{3-δ} (BCP)</i>		103
5.1	Introducción	103
5.2	Disposición Experimental	103
5.3	Transiciones de Fase de BCP en Atmosferas Oxidantes y Reductoras	105
5.4	Estudio de la Oxido/Reducción de BCP.....	109
5.5	Correlación entre las Propiedades de Alta Temperatura de BCP.....	114
5.6	Propiedades Electroquímicas de BCP	116
5.7	Discusión sobre el Efecto del Pr en Relación con las Propiedades de Conductores Protónicos	121
5.8	Conclusiones.....	123
Capítulo 6.....		125
<i>Estudio de las propiedades de alta temperatura del Compuesto</i>		
<i>BaCe_{0.4}Zr_{0.4}Y_{0.2}O_{3-δ} (BCZY)</i>		125
6.1	Introducción	125
6.2	Disposición Experimental	125
6.3	Estructura Cristalina de BCZY a Temperatura Ambiente	126
6.4	Comportamiento Termogravimétrico y Expansión Térmica en función de la Temperatura para BCZY	127
6.5	Transporte Eléctrico de BCZY	132
6.6	Tolerancia al CO ₂ de BCZY	141
6.7	Comparación de BCZY con Composiciones Similares.....	142
6.8	Conclusión.....	143
Capítulo 7.....		145
<i>Estudio de las Propiedades de Alta Temperatura de la Membrana Bicapa</i>		
<i>BaCe_{0.4}Zr_{0.4}Y_{0.2}O_{3-δ}/BaCe_{0.8}Pr_{0.2}YO_{3-δ} (BCZY/BCP)</i>		145
7.1	Introducción	145
7.2	Disposición Experimental	146

7.2.1	Preparación del Electrolito Bicapa.....	146
7.2.2	Determinación del Espesor del Material Bicapa BCZY/BCP .	146
7.3	Caracterización del Espesor del Material Bicapa BCZY/BCP	149
7.4	Propiedades Electroquímicas del Material Bicapa BCZY/BCP ...	152
7.5	Conclusión.....	158
Capítulo 8.....		159
<i>Estudio Comparativo de las Propiedades de Alta Temperatura de Cátodos sin Cobalto para PC-SOFC.....</i>		159
8.1	Introducción	159
8.2	Preparación y Caracterización de los Cátodos	160
8.3	Caracterización a Temperatura Ambiente en Aire.....	160
8.4	Propiedades de Alta Temperatura	165
8.4.1	Estructura Cristalina y No-Estequiometria de Oxigeno	165
8.4.2	Expansión Térmica Lineal	166
8.4.3	Conductividad Eléctrica.....	168
8.4.4	Estabilidad a Largos Periodos de Tiempo	170
8.5	Evaluación Electroquímica de la Celda BSFCu-BCP	173
8.6	Conclusión.....	177
Capítulo 9.....		179
<i>Conclusiones Generales</i>		179
9.	Conclusiones y Perspectivas Futuras	179
<i>Apéndice A.....</i>		185
<i>Método Rietveld.....</i>		185
<i>Apéndice B.....</i>		189
<i>Fundamentos de la Espectroscopía de Impedancia Electroquímica.....</i>		189
B.1	Introducción.....	189
B.2.	Métodos de Representación.....	190
B.2.1	Diagrama de Nyquist.....	190
B.2.2	Diagrama de Bode.....	190
B.3	Circuitos equivalentes	193
B.3.1	Resistencia	193
B.3.2	Capacitor.....	193

B.3.3 Inductancia	194
B.3.4 Circuito R//C Paralelo.....	194
B.3.5 Circuito R//CPE de Fase Constante	194
B.4. Impedancia de un Sistema Electroquímico.....	196
<i>Apéndice C</i>	199
<i>Estudio Mediante Difracción de Rayos X Anómala de los Ceratos de Bario Dopados con Pr</i>	
C.1 Modelos de defectos	199
C.2 Resultados experimentales	202
<i>Apéndice D</i>	207
<i>Publicaciones</i>	207
D.1 Publicaciones Producto de la Tesis	208
D.2 Publicaciones como Colaboraciones durante la Tesis.....	214
<i>Referencias</i>	217
<i>Agradecimientos</i>	235