

# Índice general

Índice general	I
<b>1. Introducción general</b>	<b>1</b>
1.1. Breve reseña histórica . . . . .	3
1.2. Las celdas de combustible . . . . .	5
1.2.1. Distintos tipos de celdas de combustible . . . . .	7
1.3. Los componentes principales de una SOFC . . . . .	9
1.3.1. Ánodo . . . . .	9
1.3.2. Electrolito . . . . .	10
1.3.3. Cátodo . . . . .	11
1.4. Propiedades generales de los conductores mixtos $La_{1-x}Sr_xCo_{1-y}Fe_yO_{3-\delta}$ en alta temperatura . . . . .	13
1.5. Objetivos de esta Tesis . . . . .	16
<b>2. Métodos de síntesis y caracterización</b>	<b>19</b>
2.1. Síntesis de las perovskitas de $La_xSr_{1-x}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}$ . . . . .	21
2.1.1. Síntesis por reacción de estado sólido . . . . .	21
2.1.2. Síntesis por el método de citratos modificado (Liquid-mix) . . . . .	21
2.1.3. Síntesis por el método de los acetatos . . . . .	22
2.2. Técnicas experimentales . . . . .	23
2.2.1. Medidas termogravimétricas . . . . .	23

2.2.2.	Conductividad eléctrica . . . . .	26
2.2.3.	Difracción de rayos X . . . . .	27
2.2.3.1.	Difracción de rayos X de alta temperatura . . . . .	27
2.2.3.2.	Método Rietveld . . . . .	27
2.2.4.	Microscopía electrónica de barrido y EDS . . . . .	28
2.2.4.1.	Microscopía electrónica de barrido . . . . .	28
2.2.5.	Espectroscopía de impedancia . . . . .	28
<b>3.</b>	<b>Diagrama de fases y transporte eléctrico del compuesto <math>SrCo_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}</math></b>	<b>31</b>
3.1.	Introducción . . . . .	33
3.2.	Preparación y caracterización de las muestras . . . . .	34
3.3.	Termogravimetría . . . . .	35
3.3.1.	Introducción . . . . .	35
3.3.2.	Medidas termogravimétricas y cálculo del contenido de oxígeno	39
3.3.3.	Termogravimetría isotérmica . . . . .	40
3.3.4.	Termogravimetría isobárica. . . . .	45
3.4.	Difracción de rayos X a alta temperatura . . . . .	47
3.5.	Estudio termodinámico de la fase perovskita:	
	Propiedades molares parciales . . . . .	49
3.6.	Mediciones de conductividad eléctrica . . . . .	53
3.7.	Conclusiones . . . . .	60
<b>4.</b>	<b>Efecto de la sustitución de <math>Sr^{2+}</math> por <math>La^{3+}</math> en la transformación de fase perovskita-brownmillerita en los compuestos <math>Sr_{1-x}La_xCo_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}</math> (<math>0 \leq x \leq 0.4</math>)</b>	<b>63</b>
4.1.	Introducción . . . . .	65
4.2.	Preparación y caracterización de las muestras . . . . .	65
4.3.	Medidas del potencial químico $\mu_{O_2}$ a T = 820 K . . . . .	69

4.4.	Conductividad eléctrica . . . . .	71
4.5.	Difracción de rayos X de alta temperatura . . . . .	73
4.6.	Conclusiones . . . . .	80
<b>5.</b>	<b>Estudio de la reacción de electrodo de los compuestos <math>La_xSr_{1-x}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}</math> (<math>x = 0.1</math> y <math>x = 0.6</math>) por espectroscopía de impedancia: identificación de las etapas limitantes</b>	<b>83</b>
5.1.	Introducción . . . . .	85
5.1.1.	Difusión en la fase gaseosa (Etapa 1) . . . . .	88
5.1.2.	Reacción controlada por la adsorción(Etapa 2) . . . . .	91
5.1.3.	Difusión en el material de electrodo (Etapa 5) . . . . .	94
5.1.4.	Modelo de Adler . . . . .	96
5.2.	Preparación y caracterización de las muestras . . . . .	100
5.3.	Determinación de las etapas limitantes en la reacción de electrodo del compuesto $La_{0.6}Sr_{0.4}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ . . . . .	103
5.3.1.	Influencia de la $p_{O_2}$ y la T en la reacción de electrodo . . . . .	103
5.3.2.	Influencia del espesor del electrodo . . . . .	109
5.3.3.	Influencia del gas portador . . . . .	112
5.4.	Estudio del efecto del contenido de La en la reacción de electrodo del sistema $La_xSr_{1-x}Co_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta} / Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$ con $x = 0.1$ y $x = 0.6$ . .	114
5.5.	Conclusiones . . . . .	121
<b>6.</b>	<b>Conclusiones generales</b>	<b>123</b>
<b>A.</b>	<b>Espectroscopía de impedancia</b>	<b>129</b>
A.1.	Características generales del método . . . . .	129
A.2.	Modos de representación de la impedancia compleja . . . . .	130
A.2.1.	Representación en el plano de Nyquist . . . . .	130
A.2.2.	Plano de Bode . . . . .	132

A.2.3. Otros modos de representación . . . . .	133
A.3. Modelos físicos de los principales elementos para circuitos equivalentes	133
A.3.1. Resistencia . . . . .	133
A.3.2. Capacitor . . . . .	134
A.3.3. Inductancia . . . . .	134
A.3.4. Circuito R//C paralelo . . . . .	134
A.3.5. Elemento de fase constante . . . . .	135
A.3.6. Impedancia de Warburg limitada . . . . .	136
A.3.7. Impedancia de un sistema electroquímico . . . . .	137
<b>B. Publicaciones asociadas a esta Tesis</b>	<b>141</b>
B.1. Phase equilibrium and electrical conductivity of $SrCo_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ . . . .	143
B.2. Effect of $La^{3+}$ doping on the perovskite-to-brownmillerite transformation in $Sr_{1-x}La_xCo_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ ( $0 < x < 0.4$ ) . . . . .	145
B.3. Electrode reaction of $Sr_{1-x}La_xCo_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ with $x = 0.1$ and $0.6$ on $Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95}$ at $600 \leq T \leq 800^\circ C$ . . . . .	147
<b>Bibliografía</b>	<b>149</b>