



Propiedades magnéticas y espectroscopia mössbauer en compuestos perovskita doble $\text{Sr}_2(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$).

T. HERNÁNDEZ^{1,3}, I. GÓMEZ¹, J. M. GRENECHE², F. PLAZAOLA³, J. M. BARANDIARAN³

(1) Facultad de Ciencias Químicas, UANL. Sn. Nicolás de los Garza N. L. México

(2) Laboratoire de Physique de l'Etat Condensé, UMR CNRS 6087 Université du Maine, Lemans, Francia

(3) Depto. de Electricidad y Electrónica, Fac. Ciencias (Leioa), UPV, Bilbao España

En este trabajo se ha sintetizado por el método de Pechini modificado los óxidos $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$) con estructura tipo perovskita doble. Las fases obtenidas han sido caracterizadas utilizando medidas de RX, magnéticas y medidas de espectroscopia Mössbauer a diferentes temperaturas. Los patrones de difracción de RX indican que las perovskitas dobles están bien cristalizadas. La diferencia en tamaño de los radios iónicos de Fe^{3+} y Sc^{3+} no distorsionan en gran medida la estructura del compuesto origen $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$. Las temperaturas de Curie determinadas son de 435 y 426 (± 5) K respectivamente. Los espectros Mössbauer medidos a 77 K presentan una estructura hiperfina compleja la cual resulta de los diferentes entornos magnéticos del Fe, el campo hiperfino promedio se estima ser 50 T y el desplazamiento isomérico de 0.5 mm/s por lo tanto los iones hierro se encuentran en un estado de oxidación 3+.

Palabras clave: Magnetorresistencia., Ferrimagnético, Espectroscopia Mössbauer, Perovskitas dobles.

Magnetic properties and Mössbauer spectroscopy in $\text{Sr}_2(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$) double perovskite compounds.

We have synthesised by the modified Pechini method the following polycrystalline double perovskite samples: $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$). They have been characterised by X-ray, magnetic measurements and Mössbauer spectrometry. X-ray patterns showed that the double perovskites are well crystallized. The difference in size between Fe^{3+} and Sc^{3+} atomic radii does not cause large structural changes in compared to the parent $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$ compound. The Curie temperatures are found at 426 and 435 (± 5) K for $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ and $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ respectively. The Mössbauer spectra measured at 77 K showed a complex hyperfine structure which result from different magnetic contributions at Fe sites, the average hyperfine field was estimated 50 T and the isomer shift at 0.5 mm/s consequently the iron ions stay in a trivalent state.

Keywords: Magnetoresistance, Ferrimagnetic, Mössbauer Spectroscopy, Double perovskites.

1. INTRODUCCIÓN

De los óxidos con estructura perovskita en auge debido a sus propiedades físicas, particularmente magnéticas y magnetorresistivas, la familia más ampliamente conocida es la de las manganitas de valencia mixta. No obstante, la combinación tanto en la sustitución catiónica como en la relación estequiométrica, no ha logrado que las manganitas de valencia mixta tengan temperaturas de Curie (T_c) superiores a 390 K.¹

Sin embargo, desde los años sesenta son también conocidos muchos óxidos de fórmula $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$ (A catión alcalinotérreo, B = Cr, Fe y B' = Mo, W, Re) con estructura tipo perovskita doble con T_c superiores a 400 K.^{2,3}

Gran parte del interés en las perovskitas dobles surge de obtener óxidos semimetálicos con altas temperaturas de Curie. Recordando que el máximo de la magnetorresistencia en las manganitas con estructura perovskita se encuentra en torno a la T_c , las altas temperaturas de Curie de los óxidos de las perovskitas dobles los hace buenos candidatos para ser utilizados como materiales magnetorresistivos a temperatura ambiente.

En las perovskitas dobles los cationes B pueden estar des-

ordenados en una estructura tipo NaCl o laminar.⁴ Los factores que controlan la disposición de los cationes B en la estructura de la perovskita doble son cuatro: diferencias de carga, radios iónicos, geometría de coordinación del catión y relación de tamaño de los cationes A/B. El factor más influyente es la diferencia en carga. Este efecto establece principalmente el límite entre las regiones de subredes NaCl y desordenadas.⁴ Recientemente se ha encontrado que los pequeños valores de potenciales de ionización de los cationes B favorecen su ordenamiento.⁵ El mecanismo determinante del ordenamiento resulta ser más bien electrostático que elástico entre las interacciones de los iones B.

La simetría ideal en $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$ es cúbica, pero si existe una gran diferencia en el estado de oxidación entre B y B' se tiene una estructura ordenada tipo NaCl. La celda unidad centrada en el cuerpo, que es un múltiplo entero de la celda cúbica, está compuesta de ocho pequeños cubos en los cuales los cationes B ocupan vértices alternados y los cationes A se localizan en los centros de los cubos pequeños. La longitud de la arista de la celda unidad es dos veces la de una perovskita simple.

Las únicas interacciones magnéticas a ser consideradas en las perovskitas dobles $A_2BB'O_6$ son del tipo supercanje B-O-B' donde el ángulo es exactamente 180 grados. Hay interacciones no magnéticas B'-O-B' o B-O-B pero no hay interacciones B'-O-B a ángulos diferentes de 180 grados. Las únicas interacciones directas podrían ocurrir a distancias de aproximadamente 0.55 nm y éstas serían muy débiles comparadas con las de supercanje. La estructura de la perovskita doble es así una estructura ideal para el estudio de las interacciones de supercanje a 180 grados entre diferentes cationes.

Entre los factores que influyen en el ordenamiento en la estructura perovskita doble el más importante es el grado de diferencia de carga entre los cationes B. Los efectos de orden-desorden se observan frecuentemente cuando la diferencia de carga entre B y B' es dos o menos.⁴ La espectroscopia Mössbauer es una técnica muy útil para determinar estados de oxidación en perovskitas que contengan Fe en las posiciones B y proporcionar el grado de orden-desorden en las mismas, así como ayudar a establecer los diferentes tipos de interacciones magnéticas existentes.⁶ La técnica Mössbauer es también muy útil para distinguir estados de hierro localizados y deslocalizados y para examinar la influencia del catión en el entorno del núcleo de Fe.⁷

Para comprender algunos de los fenómenos de orden local, homogeneidad estructural y magnética, se ha realizado un estudio de espectroscopia Mössbauer en los sistemas $Sr_2Fe_{1-x}Sc_xReO_6$ ($x = 0.05, 0.1$). Los datos obtenidos proporcionan información local de la naturaleza eléctrica y magnética en este tipo de compuestos.

2. SÍNTESIS DE LOS COMPUESTOS $Sr_2Fe_{1-x}Sc_xReO_6$. ($x = 0.05, 0.1$)

Se utilizó el método de Pechini modificado como precursor para la obtención de las perovskitas dobles. La utilización de este método tiene como objetivo aumentar el grado de homogeneidad y orden, un factor determinante en las propiedades resultantes de las perovskitas dobles.

Los reactivos de partida fueron $SrCO_3$, $Fe(NO_3)_2 \cdot 9H_2O$, Sc_2O_3 , $^{57}Fe_2O_3$ y Re metálico, todos ellos de grado analítico.

La utilización de $^{57}Fe_2O_3$ como reactivo de partida permitió la preparación de fases enriquecidas con un 2% de ^{57}Fe para la realización del estudio por espectroscopia Mössbauer. Esto está motivado por la presencia de renio en estas fases que dificulta una buena estadística debido a la alta absorción de radiación gamma que experimenta este núcleo.

Los reactivos se disolvieron estequiométricamente en una solución de ácido cítrico en una relación de concentración ácido cítrico/Re de 3:1. A la solución se le agregó ácido nítrico 2 M para acidificarla ligeramente. Una vez disueltos todos los reactivos se adicionó etilenglicol en relación 1:1 con el ácido cítrico. Una vez obtenido el polímero que contiene los iones metálicos, se dejó evaporar la solución lentamente hasta la formación de una resina, en un baño de arena a la temperatura de 100°C, sin que se produjeran segregaciones parciales que modificarán la homogeneidad del medio, que debe mantenerse a escala atómica. A la resina se le aplicó un tratamiento térmico entre 200 y 450°C, para eliminar la materia orgánica, obteniéndose un polvo muy fino. El residuo obtenido se sometió a tratamiento térmico de 1300 °C en atmósfera inerte de Argón.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Medidas de Difracción de Rayos X.

Los diagramas de difracción de rayos X en polvo fueron obtenidos en un difractómetro Stoe/Stadi-P provisto de un monocromador de Ge(III), usando una radiación de $CuK\alpha_1$ en un intervalo de $5 < 2\theta < 120^\circ$ con un paso de 0.02 grados.

Se observa que la mayoría de los picos del diagrama de difracción de rayos X corresponden a una estructura tipo perovskita. La existencia de dos picos a ángulos de aproximadamente 19° y 38° establece la presencia de la supercelda que surge del ordenamiento de los cationes en las posiciones B, esto es, de Fe^{3+}/Sc^{3+} y Re^{5+} para el sistema $Sr_2Fe_{1-x}Sc_xReO_6$ $x = 0.05, 0.1$. La parcial o total ausencia de estos dos picos está, por tanto, relacionada con el grado de desorden presente en la perovskita doble.

Los resultados del refinamiento de la estructura utilizando el método de Rietveld⁸ mediante el programa GSAS⁹ presentaron monofases con simetría romboédrica Immm para el sistema $Sr_2Fe_{1-x}Sc_xReO_6$ (Tabla 1). Todos los picos fueron indexados con celdas unidad $\sqrt{2}a_p \times \sqrt{2}a_p \times 2a_p$, cuyas dimensiones están relacionadas con la de la perovskita cúbica de celda unidad $2a_p$. Los factores de ajuste para estos refinamientos son Rwp (%): 3.5 y 4.28; Rp (%): 2.7 y 3.24; y χ^2 : 1.16 y 1.69 para $Sr_2Fe_{0.95}Sc_{0.05}ReO_6$ y $Sr_2Fe_{0.9}Sc_{0.1}ReO_6$ respectivamente.

TABLA 1. PARÁMETROS CRISTALOGRAFICOS Y RESULTADOS DE LAS MEDIDAS MAGNÉTICAS PARA $Sr_2Fe_{0.95}Sc_{0.05}ReO_6$ y $Sr_2Fe_{0.9}Sc_{0.1}ReO_6$

	$Sr_2Fe_{0.95}Sc_{0.05}ReO_6$	$Sr_2Fe_{0.9}Sc_{0.1}ReO_6$
Grupo Espacial	Immm	Immm
a (nm)	0.55726(5)	0.55759(6)
b (nm)	0.55802(6)	0.56089(7)
c (nm)	0.78690(6)	0.78794(8)
V ((nm) ³)	24.470(5)	24.642(8)
T _c /K	435	426
M _s (300 K) a 0.5 T/emu g ⁻¹	6.9	5.8
Grado de Orden (%)	74.3(6)	78.0(4)

El resultado de la simetría romboédrica Immm es consistente con la diferencia en tamaño de los iones Fe^{3+} y Sc^{3+} , el volumen de la celda unidad aumenta con la sustitución de hierro por escandio como era de esperar al introducir un catión de mayor tamaño en las posiciones octaédricas (Fe^{3+} 64.5 pm frente a Sc^{3+} 74.5 pm).¹⁰ El grado de orden puede ser estimado de los resultados del análisis de los diagramas de difracción de rayos X experimentales.¹¹

Los resultados de los análisis de Rietveld sugieren orden de 74.3(6) y 78.0(4)% para las fases romboédricas de $Sr_2Fe_{0.95}Sc_{0.05}ReO_6$ y $Sr_2Fe_{0.9}Sc_{0.1}ReO_6$. El grado de orden en las posiciones B observado por difracción de rayos X es consistente con los resultados del estudio de espectroscopia Mössbauer como se discutirá posteriormente.

3.2. Medidas Magnéticas

3.2.1 MEDIDAS $M = f(T)$.

Las medidas magnéticas se realizaron en una balanza de Faraday en donde el magnetómetro utilizado es un sistema comercial suministrado por la casa Manics, modelo DSM-8 y en un magnetómetro SQUID MPMS-7.

Las curvas de imanación frente a la temperatura para $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$) se presentan en la Figura 1.

Se observan curvas características de un comportamiento ferrimagnético para el sistema $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ (Figura 1). Las temperaturas de Curie se determinaron como el mínimo de la derivada de dM/dT frente a la temperatura (Tabla 1).

3.2.2 MEDIDAS $M = f(T)$

De la evolución de la imanación frente al campo aplicado a 10 K se observa que las curvas para el sistema $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$), ver Figura 2, no alcanzan un valor de saturación.

La imanación a saturación para el sistema ha sido obtenida utilizando el "método de las Arrot Plots",¹² M_s (10K)/ $\mu\text{B}/f.u.$: 1.2 y 0.9 para $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ respectivamente.

Los valores obtenidos junto con el valor para $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$ determinado por Blanco y otros¹³ aparecen representados en la Figura 2. El valor de la imanación disminuye drásticamente con la sustitución del ion escandio no magnético en la posición del hierro modificando enormemente el valor del momento magnético. A medida que el escandio sustituye al hierro el valor del momento magnético disminuye, y por tanto, debería llevar a una disminución en la temperatura de Curie, sin embargo, se observa que las T_c a medida que se sustituye el Sc son mas altas, siendo mayores que las del mismo compuesto sin sustituir, la T_c del $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$ es de 410 K. No es posible establecer con los estudios realizados hasta este momento el comportamiento presentado en estas perovskitas dobles. La caracterización de este tipo de óxidos con un intervalo de concentración del Sc superior a 0.1 y con sustituciones más próximas junto con estudios de análisis de estructura local como la difracción de neutrones sería de gran ayuda para establecer el comportamiento regular de las T_c .

3.3. Espectroscopia Mössbauer.

Existen pocos estudios de espectroscopia Mössbauer para la perovskita doble $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$.^{13, 14} Los primeros estudios indicaron la presencia de Fe^{3+} de alto espín.¹³ Gopalakrishnan y otros¹⁵ propusieron un estado de oxidación intermedio $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, resultado que ha sido recientemente confirmado por Blanco y otros¹⁴ en la perovskita doble $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$ a altas temperaturas. La incertidumbre sobre el estado de oxidación propuesto para los iones Fe y Re así como las contradicciones de los resultados obtenidos por diferentes técnicas hace de la espectroscopia Mössbauer una técnica de análisis muy útil para clarificar esta situación.

3.3.1 ESPECTROSCOPIA MÖSSBAUER DEL SISTEMA $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.

La espectroscopia Mössbauer se realizó en geometría de transmisión utilizando un espectrómetro convencional de aceleración constante con una fuente de $^{57}\text{Co-Rh}$. La velocidad fue calibrada usando una lámina de Fe como material estándar. Los espectros han sido ajustados utilizando el programa NORMOS desarrollado por Brand y otros.¹⁶

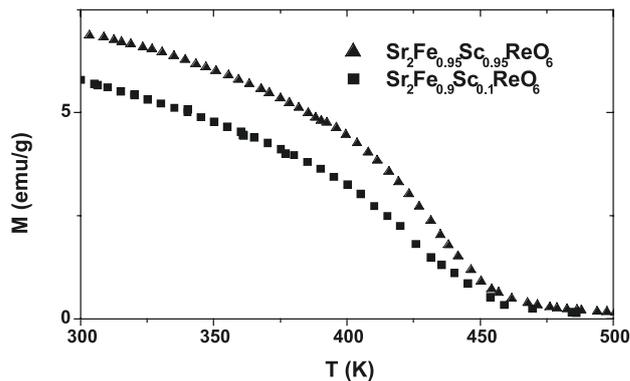


Figura 1. Medidas de imanación para los compuestos estudiados bajo un campo aplicado de 0.5 Teslas.

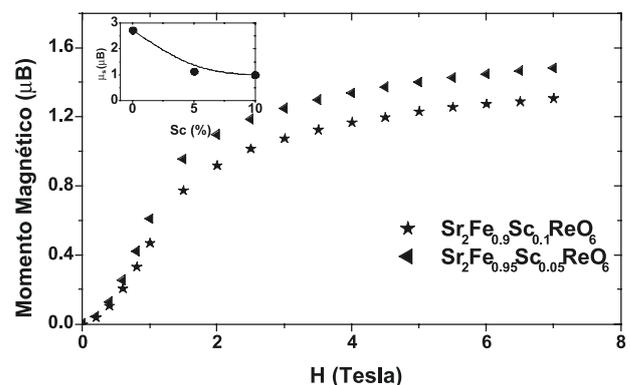


Figura 2. Dependencia del momento magnético por formula unidad en función del campo aplicado a 10 K para el sistema $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$.

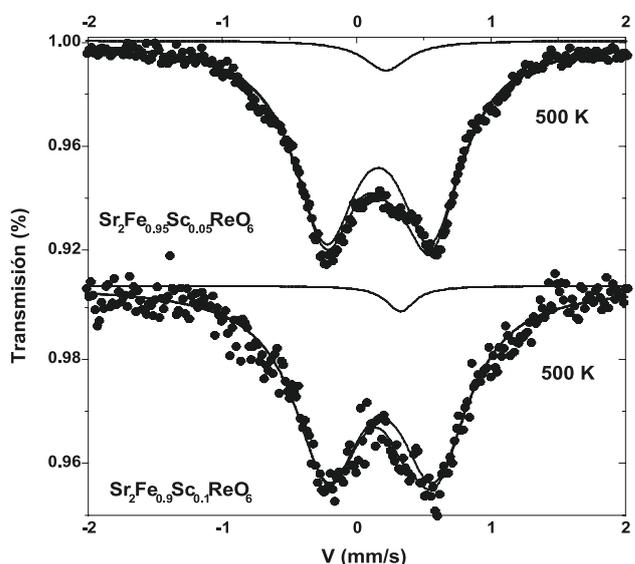


Figura 3. Espectros Mössbauer experimental y ajuste de $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ obtenidos en la región paramagnética.

Los espectros Mössbauer en la región paramagnética para las fases $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ se muestran en la Figura 3.

Los espectros realizados en la zona paramagnética muestran un doblete asimétrico, que puede ser interpretado como una combinación de un singlete y un doblete (ver Figura 3). La contribución de los componentes singletes es muy pequeña

se encuentra dentro del error estadístico (2-3 %). Los valores de los desplazamientos isoméricos de los componentes principales (dobletes) están en acuerdo con la presencia de iones Fe^{3+} . Esto descarta prácticamente un estado de oxidación intermedio para Fe como el que se ha encontrado en este tipo de óxidos.¹⁷ Los valores de los desplazamientos isoméricos y desdoblamiento cuadrupolares se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. DATOS MÖSSBAUER PARA LOS COMPUESTOS $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ EN ZONA PARAMAGNÉTICA.

Compuesto	T (K)	δ (mms ⁻¹)	Δ (mms ⁻¹)	Γ (mms ⁻¹)	%
$\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$	500	0.39(1)	0.0	0.26(5)	5(2)
		0.32(0)	0.78(1)	0.57(0)	95(2)
$\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$	500	0.44(5)	0.0	0.26(5)	3(2)
		0.29(1)	0.78(1)	0.61(2)	97(2)

Los valores de anchura de línea $\approx 0.6(2)$ mm/s observadas para los dobletes son grandes, por lo tanto, los espectros son más difíciles de ajustar. Este hecho y la baja contribución de los singletes es atribuido a una disminución en el orden catiónico, causado por las sustituciones de los iones Sc. Resultados similares fueron encontrados en óxidos desordenados donde pequeños cambios en el entorno local del Fe dan como resultado una distribución de desdoblamiento cuadrupolares.¹⁸

Los espectros Mössbauer a temperatura ambiente (Figura 4) presentan estructuras magnéticas hiperfinas con líneas ensanchadas, sugiriendo la proximidad de la temperatura de orden magnético.

Los espectros fueron ajustados utilizando una distribución de campos hiperfinos más una pequeña componente de desdoblamiento cuadrupolar. Los valores de los parámetros hiperfinos se dan en la Tabla 3.

TABLA 3. DATOS MÖSSBAUER PARA LOS COMPUESTOS $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ A TEMPERATURA AMBIENTE.

Compuesto	δ ó $\langle \delta \rangle$ (mms ⁻¹)	Δ /(mms ⁻¹)	Γ ó $\langle \Gamma \rangle$ (mms ⁻¹)	$\langle B \rangle$ (Tesla)	%
$\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$	0.40(1)	0.75(1)	0.55(1)		10(2)
	0.41		0.30	38.5	90(2)
$\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$	0.40(1)	0.75(1)	0.55(1)		13(2)
	0.41		0.30	36.6	87(2)

Los espectros a 77 K (Figura 5) muestran la existencia de un orden magnético bien desarrollado. Presentan líneas ensanchadas y levemente asimétricas debido a la existencia de diferentes entornos magnéticos en las posiciones del Fe dentro de la estructura. Esto confirma la existencia de un cierto grado de desorden en las posiciones Fe/Re. La sustitución por Sc provoca un aumento en el número de posiciones de Fe magnéticamente inequivalentes.

Una pequeña componente paramagnética (doblete) adicional está presente en todas las fases. La contribución del doblete cuadrupolar al espectro total fue de 5 % y 3.7 % para las fases $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ respectivamente. Para las fases sustituidas, la parte magnética se ajustó utilizando al menos cuatro componentes magnéticas.

Para cada una de estas componentes se obtuvieron diferentes valores de campo hiperfino, desplazamiento isomérico y desdoblamiento cuadrupolar. Los valores medios de los parámetros hiperfinos se listan en la Tabla 4.

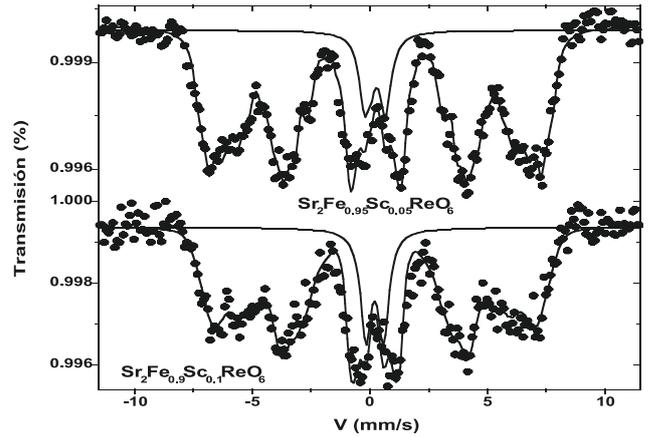


Figura 4. Espectros Mössbauer para los compuestos $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ a temperatura ambiente.

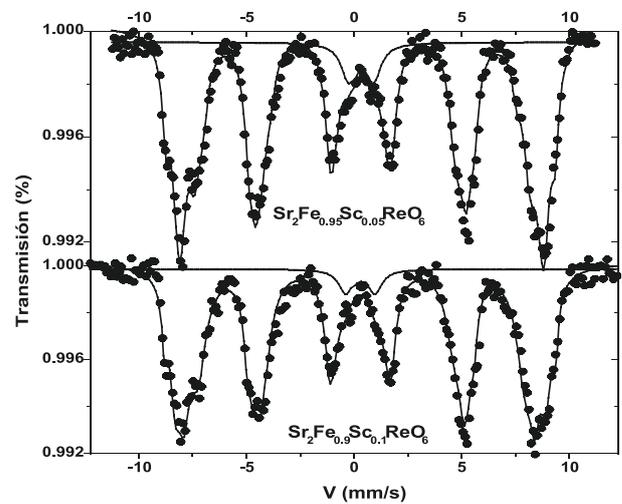


Figura 5. Espectros Mössbauer para los compuestos $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$ y $\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$ magnéticamente ordenados a 77 K

TABLA 4. DATOS MÖSSBAUER PARA EL SISTEMA $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{ReO}_6$ ($x = 0.05, 0.1$) a 77 K.

Compuesto	$\langle \delta \rangle$ (mm/s)	$\langle \Delta \rangle$ (mm/s)	$\langle B \rangle$ (T)
$\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.95}\text{Sc}_{0.05}\text{ReO}_6$	0.53	0.05	50.9
$\text{Sr}_2\text{Fe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{ReO}_6$	0.50	0.02	50.2

4. CONCLUSIONES.

Los espectros Mössbauer proporcionan información relevante sobre la configuración electrónica del Fe en los óxidos estudiados, se infiere que éste se encuentra en un estado de oxidación 3+, así mismo, reflejan la evolución del comportamiento ferrimagnético presente, la baja contribución de los singletes en los espectros Mössbauer es atribuida a una disminución en el orden catiónico causado por las sustituciones de los iones Sc, lo cual es consistente con los resultados de difracción de rayos X.

5. REFERENCIAS.

1. J. M. D. Coey, M. Viret, S. von Molnár. "Mixed-valence manganites" *Adv. Phys.* 48 [2] 167-293 (1999).
2. A. W. Sleight and R. Ward. "Compounds of septivalent rhenium with the perovskite structure" *J. Am. Chem. Soc.* 83 1088-1090 (1961).
3. A. W. Sleight, J. Longo and R. Ward. "Compounds of Os and Re with ordered perovskite structure" *Inorg. Chem.* 1 245-250 (1962).
4. M. T. Anderson, K. B. Greenwood, G. A. Taylor and K. R. Poeppelmeier. "B-cation arrangements in double perovskites" *Prog. Solid Stat. Chem.* 22 197-233 (1993).
5. A. A. Bokov, N. P. Protsenko and Z.-G. Ye. "Relationship between ionicity, ionic radii and order/disorder in complex perovskites" *J. Phys. Chem. Sol.* 61 [9] 1519-1527 (2000).
6. S. Nakamura, K. Ikezaki, N. Nakagawa, Y. J. Shan, M. Tanaka.. "Mössbauer Study on the Ordered Perovskite A_2FeMoO_6 (A: Ca, Sr, Ba)" *Hyperfine Interact.* 141/142 [1-4/1-2] 207-211 (2002).
7. A. P. Douvalis, M. Venkatesan, J. M. D. Coey, M. Grafoute, J. M. Greneche, R. Suryanarayanan. "Mössbauer, magnetization and crystal structure studies of the double perovskites $\text{Sr}_2\text{FeMo}_{1-x}\text{W}_x\text{O}_6$, $x = 0, 0.1, 0.2, 0.3$ and 0.4 " *J. Phys. Condens. Mat.* 14 [47] 12611-12627 (2002).
8. H. M. Rietveld. "Profile refinement method for nuclear and magnetic structures" *J. Appl. Crystallogr.* 2 65-71 (1969).
9. A. C. Larson, R. B. von Dreele. "General structure analysis system", Los Alamos, N. M: Los Alamos National Laboratory, 1994.
10. R. D. Shannon. "Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides" *Acta Crystallogr. Sect A*, A32 [5] 751-767 (1976).
11. D. D. Sarma, E. V. Sampathkumaran, Sugata Ray; R. Nagarajan, Subham Majumdar, Ashwani Kumar, G. Nalini and T. N. Row Guru. "Magnetoresistance in ordered and disordered double perovskite oxide, $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ " *Sol. Stat. Commun.* 114 [9] 465-468 (2000).
12. A. Arrott. "Criterion for ferromagnetism from observations of magnetic isotherms" *Phys. Rev.* 108 1394-1396 (1957).
13. M. Abe, T. Nakagawa and S. Nomura "Magnetic and Mössbauer studies of the ordered perovskites iron rhenium strontium oxide ($\text{Sr}_2\text{Fe}_{1-x}\text{Re}_{1-x}\text{O}_6$)" *J. Phys. Soc. Japan.* 35 [5] 1360-1365 (1973).
14. J. J. Blanco, T. Hernández, L. M. Rodríguez-Martínez, M. Insausti, J. M. Barandiarán, J. M. Greneche and T. Rojo. "The effects of Sc and Nb substitution in $\text{Sr}_2\text{FeReO}_6$ double perovskites. A combined study of X-ray powder diffraction and Mössbauer spectroscopy" *J. Mat. Chem.* 11 [2] 253-256 (2001).
15. J. Gopalakrishnan, A. Chattopadhyay, S. B. Ogale, T. Venkatesan, R. L. Greene, A. J. Millis, K. Ramesha, B. Hannoyer and G. Marest. "Metallic and nonmetallic double perovskites: A case study of A_2FeReO_6 (A=Ca, Sr, Ba)" *Phys. Rev. B.* 62 [14] 9538-9542 (2000).
16. R. A. Brand, J. Lauer, and D. M. Herlach. "The evaluation of hyperfine field distributions in overlapping and asymmetric Mössbauer spectra: a study of the amorphous alloy palladium-copper-silicon-iron" *J. Phys. F: Met. Phys.* 13 [3] 675-683 (1983).
17. A. Peña, J. Gutierrez, L. M. Rodríguez-Martínez, J. M. Barandiarán, T. Hernández and T. Rojo. "Magnetic order changes in Al substituted $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_6$ double perovskites" *J. Magn. Magn. Mater.* 254-255 586-588 (2003).
18. T. C. Gibb, P. D. Battle, S. K. Bollen and R. J. Whitehead. "Investigation of the crystal and magnetic structure of the perovskite system strontium iron titanate ($\text{Sr}_2\text{FeTiO}_{6-y}$) by Mössbauer spectroscopy and neutron diffraction" *J. Mater. Chem.* 2 [1] 111-114 (1992).

Recibido: 07.08.03

Aceptado: 14.09.03

PREMIOS ECerS

UN POSTER CON PARTICIPACIÓN ESPAÑOLA ES PREMIADO EN EL VIII CONGRESO ECerS.

ESTAMBUL 2003

Durante el VIII Congreso ECerS, celebrado en Estambul del 29 de Junio al 4 de Julio pasados tuvieron lugar las convocatorias destinadas a premiar al mejor estudiante europeo en cerámica y al mejor cartel presentado al Congreso. El concurso para seleccionar al mejor estudiante, contó con la participación de 14 estudiantes representantes de los diferentes países miembros de ECerS. El vencedor fué C. Huisman (Holanda), por su trabajo: "Aerosol synthesis of anatase titanium dioxide particles for hybrid solar cells". El segundo puestos fué R. Short (Inglaterra) que presentó la investigación realizadas sobre : "Molybdenum in nuclear wastes-incorporation and redox state". El tercer lugar correspondió a G. Gregori (Italia) con su presentación : "TEM, EELS y EFTEM analysis on SiCO glasses" y B. Vertruyen (Bélgica) por su trabajo: " The Mn-O network: the cornerstone of the La MnO-based compounds". La española S. Gabaldón , de la Universidad Jaume I de Castellón, ocupó el noveno puesto con su trabajo sobre "Ecoeficient Production Planing, Development of Ceramic Red Stoneware Ecotiles". El premio al mejor cartel presentado al congreso fué concedido al grupo hispano francés formado por, S. Deville, J. Chevalier, G. Fantozzi, del Institut National des Sciencis Appliquées (Lyon) y a J. F. Bartolomé, J. Requena, J. S. Moya, R. Torrecillas y L. Diaz, de los centros españoles del CSIC, Instituto de Materiales de Madrid e Instituto Nacional del Carbón. Oviedo. El título del trabajo premiado fué: " Development of advanced zirconia toughened alumina nanocomposites for orthopaedic applications".