

# 1 Resultados

A continuación se reportan los resultados obtenidos con la metodología descrita en el capítulo anterior.

## 1.1. Muestras Sintetizadas

Se sintetizaron un total de 8 muestras de 1g de cada ortoferrita. Una muestra de cada una fue reservada para realizar un análisis termogravimétrico. A través de éste, se determinó la temperatura mínima de calcinación para ambas ortoferritas, como se reporta en la sección 1.2.1.

Con estas temperaturas en mente, 600°C para el NdFeO<sub>3</sub> y 700°C para el SmFeO<sub>3</sub>, se calcinaron el resto de muestras, 4 muestras de NdFeO<sub>3</sub> se calcinaron a 600°C, para las otras 3 se aumentó la temperatura 100°C por cada una, es decir, se calcinaron a 700, 800 y 900°C respectivamente.

Por otro lado, para el SmFeO<sub>3</sub> se calcinaron 4 muestras a 700°C, aumentando la temperatura de la misma forma que en el caso del NdFeO<sub>3</sub> para las otras 3, es decir, se calcinaron a 800, 900 y 1000°C respectivamente.

Se obtuvieron polvos de color café rojizo con apariencia porosa, como se muestra en la figura [tomar foto de muestra].

## 1.2. Caracterización

En esta sección se reportan los resultados obtenidos a través de las técnicas descritas en el capítulo ??.

### 1.2.1. Análisis Termogravimétrico

Se realizó un análisis termogravimétrico a ambas ortoferritas, lo cual dió como resultado las siguientes curvas de masa contra temperatura:

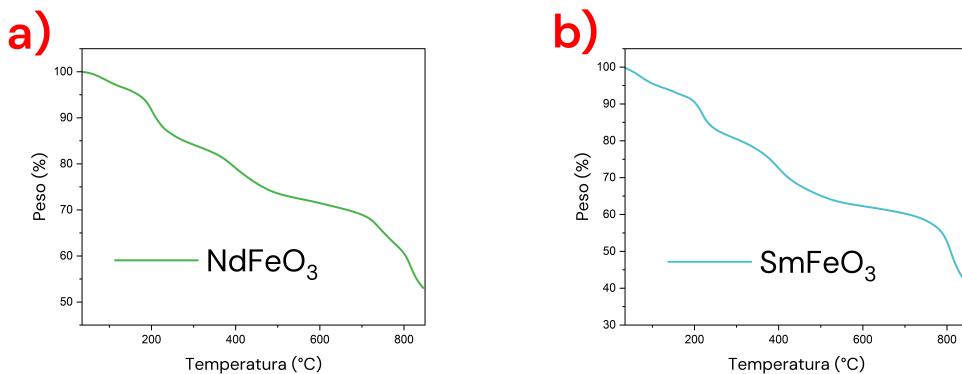


Figura 1.1: Análisis termogravimétrico de las ortoferritas. a) NdFeO<sub>3</sub>, b) SmFeO<sub>3</sub>

Se obtuvo la derivada de la masa respecto a la temperatura:

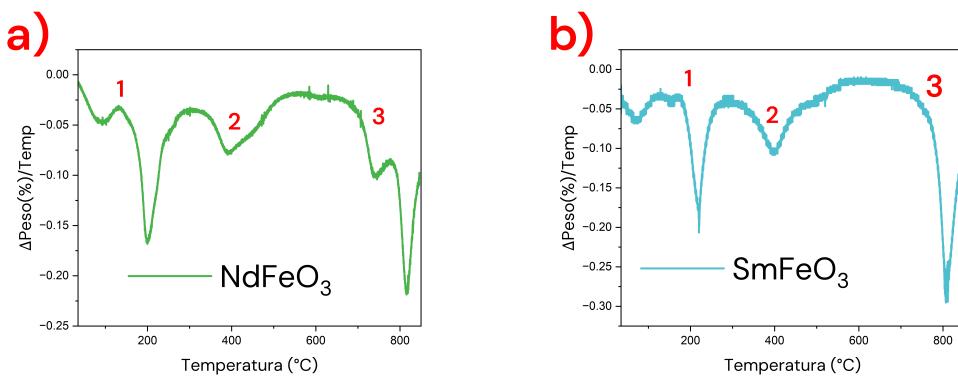


Figura 1.2: Derivada de la masa respecto a la temperatura para ambas ferritas. a) NdFeO<sub>3</sub>, b) SmFeO<sub>3</sub>

Se pueden observar 3 regiones distintas donde ocurren cambios térmicos en la muestra:

Zona	Temperatura aproximada
1	100-200°C
2	300-500°C
3	>700°C

Tabla 1.1: Regiones donde cambia el comportamiento de la masa respecto a la temperatura para ambas muestras.

La región 1 coincide con las temperaturas a la que el agua se evapora y se combustiona la fase orgánica en la muestra. Se piensa que la formación de la fase cristalina ocurre en la región 2, lo cual se corrobora con DRX. En la región 3 parece ocurrir una modificación en los ángulos de la celda unitaria, de acuerdo a las observaciones que se discutirán en la sección

### 1.2.2. Análisis Estructural, Morfológico y de Composición

En esta sección se discutirán los resultados obtenidos en las técnicas de caracterización estructural: SEM, EDS y DRX. Se discute la morfología y la composición de las muestras así

como su estructura cristalina.

### 1.2.2.1. Microscopía Electrónica de Barrido

Se estudió la morfología de las partículas sintetizadas a través de esta técnica, dando como resultado imágenes como las que se muestran en las figuras 1.4, 1.3, 1.5 y 1.6.

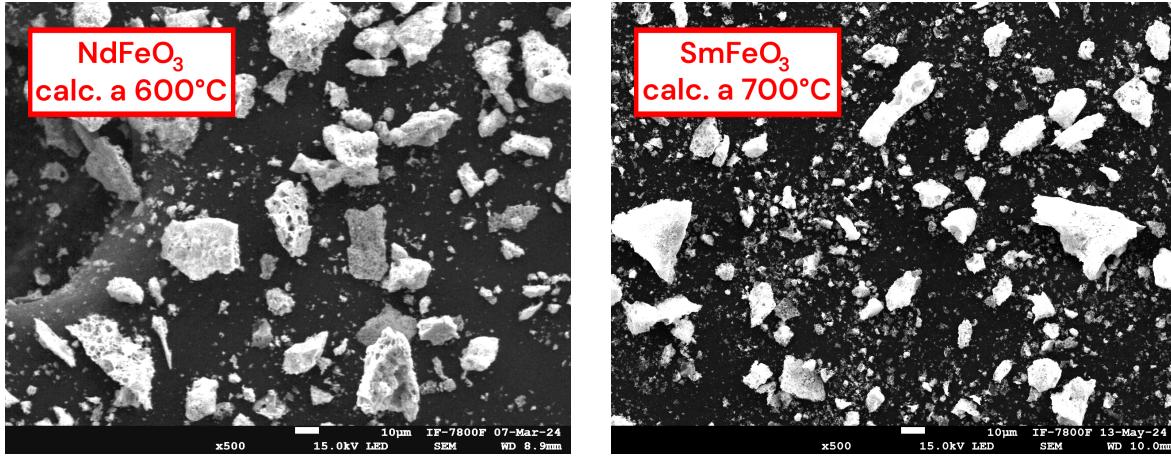


Figura 1.3: Imágenes obtenidas a través de SEM para las muestras sin sonicar. Muestra de  $\text{NdFeO}_3$  calcinada a  $600^\circ\text{C}$ , muestra de  $\text{SmFeO}_3$  calcinada a  $700^\circ\text{C}$ . Amplificación  $\times 500$

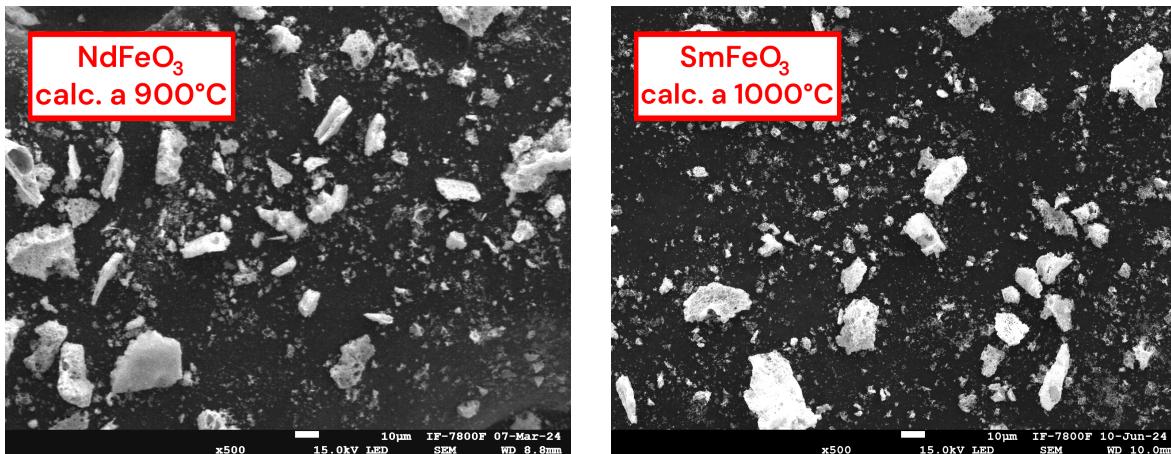


Figura 1.4: Imágenes obtenidas a través de SEM para las muestras sin sonicar. Muestra de  $\text{NdFeO}_3$  calcinada a  $900^\circ\text{C}$ , muestra de  $\text{SmFeO}_3$  calcinada a  $1000^\circ\text{C}$ . Amplificación  $\times 500$

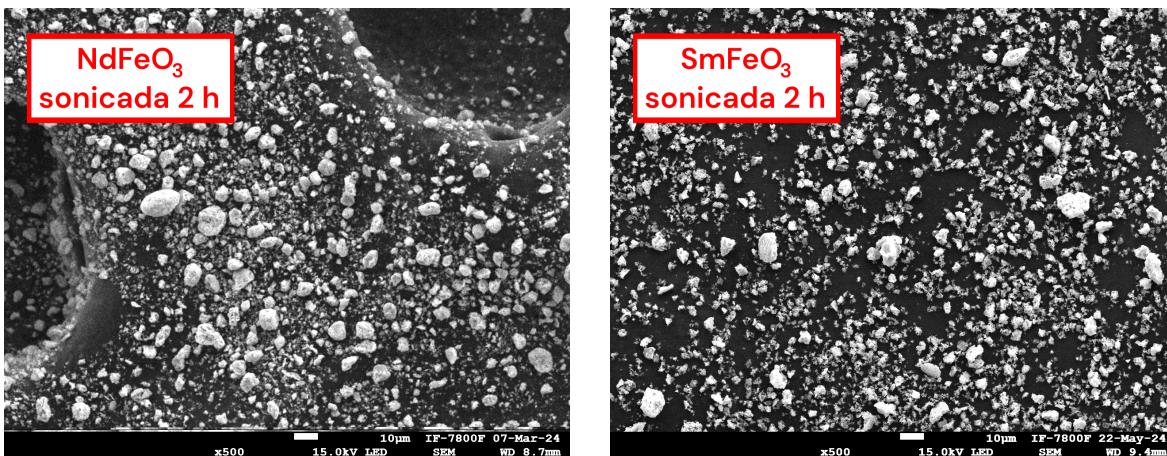


Figura 1.5: Imágenes obtenidas a través de SEM para las muestras sonicadas 2 horas. Muestra de NdFeO<sub>3</sub> calcinada a 600°C, muestra de SmFeO<sub>3</sub> calcinada a 700°C. Amplificación ×500

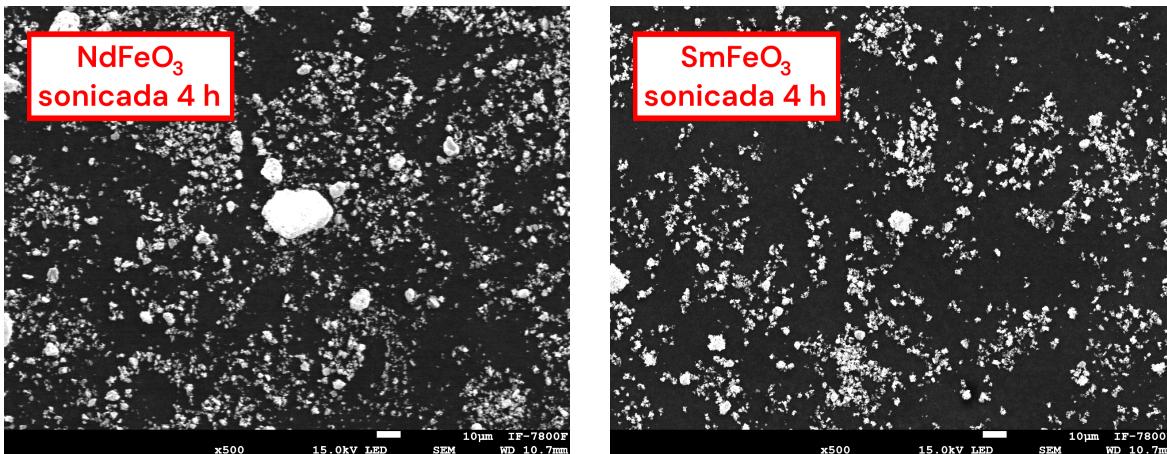


Figura 1.6: Imágenes obtenidas a través de SEM para las muestras sonicadas 4 horas. Muestra de NdFeO<sub>3</sub> calcinada a 600°C, muestra de SmFeO<sub>3</sub> calcinada a 700°C. Amplificación ×500

Se observa que estas partículas presentan una estructura porosa independientemente de la temperatura, la cual se rompe después de ser sometida a un proceso de sonicación, siendo esto visible a simple vista al comparar las imágenes de las figuras 1.3 y 1.4, las cuales muestran a las ortoferritas de NdFeO<sub>3</sub> calcinada a 600°C y SmFeO<sub>3</sub> calcinada a 700°C respectivamente, con las que se encuentran en la figura 1.5, en donde se muestran éstas mismas muestras después de ser sonicadas por 2 horas a 292W, además de las de la figura 1.6, donde éstas muestras fueron sonicadas por 4 horas a la misma potencia. Como ya se describió en la sección ??, los tamaños de partícula fueron obtenidos haciendo uso de *ImageJ*.

Los métodos descritos en esa sección dieron como resultado los siguientes resultados:

Muestra	Temperatura de calcinación	Diámetro promedio	Porcentaje $\leq 1 \mu\text{m}$
$\text{NdFeO}_3$	600°C	1.49±0.028	67.29±4.0796
	600°C, sonicada 2 h	1.00±0.035	80.87±0.79942
	600°C, sonicada 4 h	0.98±0.023	87.1±1.29258
	700°C	1.76±0.047	58.8±1.84167
	800°C	2.5±0.087	61.27±1.80513
	900°C	2.66±0.065	53.85±2.55817
$\text{SmFeO}_3$	700°C	2.01±0.051	55.18±2.1034
	700°C, sonicada 2 h	1.81±0.037	88.13±1.08097
	700°C, sonicada 4 h	1.66±0.045	92.62±0.91496
	800°C	1.91±0.034	44.4±2.5047
	900°C	1.97±0.029	62.28±2.49791
	1000°C	2.02±0.055	44.46±2.64018

Tabla 1.2: Tamaño promedio de partícula y porcentaje de partículas con diámetro  $\leq 1 \mu\text{m}$  según la temperatura de calcinación para ambas ferritas.

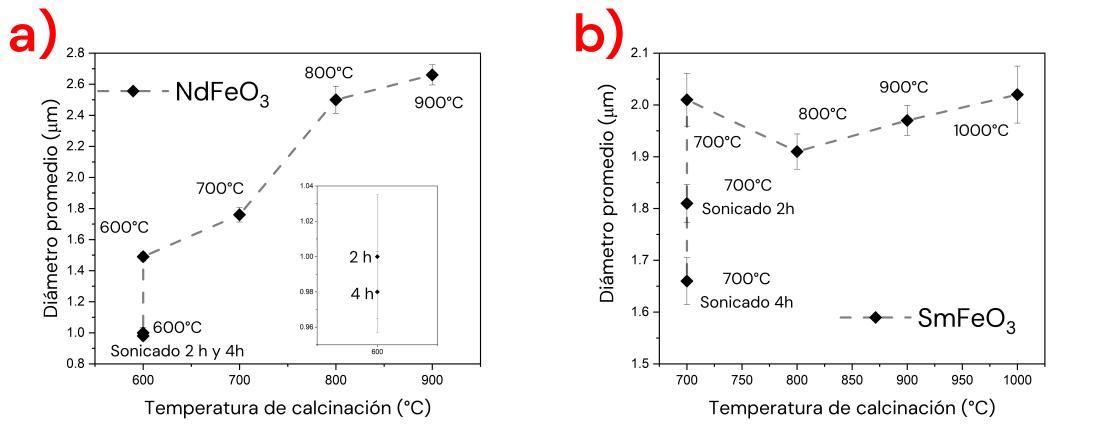


Figura 1.7: Gráfica del tamaño promedio de partícula según la temperatura de calcinación. a) Muestras de  $\text{NdFeO}_3$ , b) muestras de  $\text{SmFeO}_3$

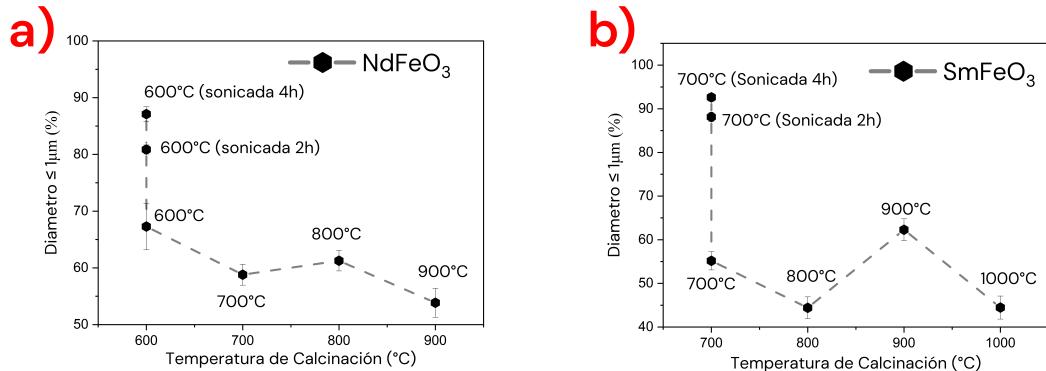


Figura 1.8: Gráfica del porcentaje de partículas con diámetro  $\leq 1 \mu\text{m}$  según la temperatura de calcinación. a) Muestras de  $\text{NdFeO}_3$ , b) muestras de  $\text{SmFeO}_3$

Estos datos sugieren que el tamaño de partícula aumenta con la temperatura de calcinación, en particular para el NdFeO<sub>3</sub>.

Por otro lado, la sonicación reduce considerablemente el tamaño promedio de partícula, además de aumentar el porcentaje de partículas con diámetro  $\leq 1 \mu\text{m}$

Sin embargo, duplicar el tiempo de sonicación no cambia los resultados de manera significativa, por lo cual se piensa que este proceso sólo rompe las partículas más grandes, pero no es lo suficientemente potente para fragmentar las más pequeñas.

### 1.2.2.2. Espectroscopía de Dispersión de Energía

Esta técnica reveló los elementos presentes en las muestras introducidas al microscopio electrónico de barrido, lo cual permite hallar posibles contaminantes, además de delimitar las posibles estructuras cristalinas a tomar en cuenta en el análisis de la difracción de rayos X de la sección 1.2.2.3.

En ninguna de las mediciones se encontraron contaminantes externos, a excepción de carbono, el cuál puede explicarse debido a que la cinta utilizada para la preparación de muestras está hecha de este material, esto se reporta en las tablas 1.3 y 1.4.

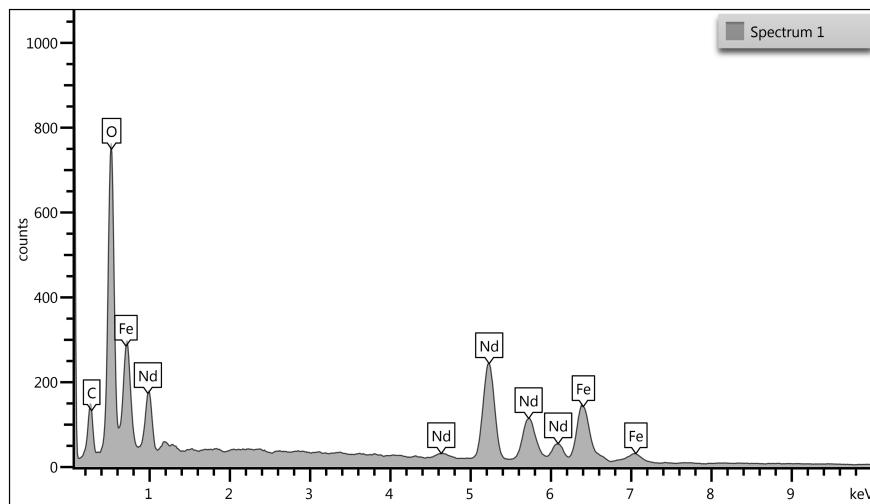
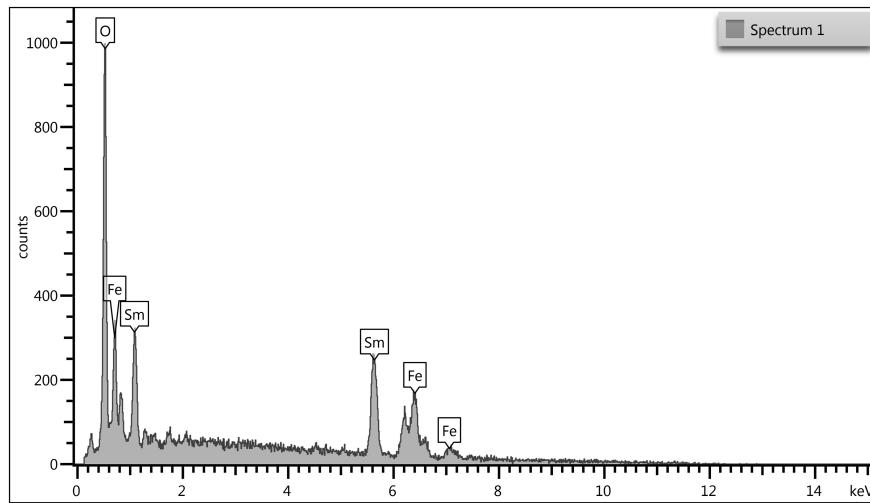


Figura 1.9: EDS de la muestra de NdFeO<sub>3</sub> calcinada a 600°C sin sonicar.

Elem.	600°C Son. 2h wt %	600°C Son. 4h wt %	600°C wt %	700°C wt %	800°C wt %	900°C wt %	1000°C wt %
Fe	20.33 $\pm$ 0.78	21.00 $\pm$ 0.77	19.94 $\pm$ 0.68	22.23 $\pm$ 1.01	20.31 $\pm$ 0.67	21.0 $\pm$ 1.04	18.37 $\pm$ 2.06
Nd	47.88 $\pm$ 0.92	58.44 $\pm$ 0.87	50.45 $\pm$ 0.85	58.93 $\pm$ 1.21	56.47 $\pm$ 0.83	44.7 $\pm$ 1.18	78.72 $\pm$ 2.12
O	31.79 $\pm$ 0.70	20.56 $\pm$ 0.56	21.71 $\pm$ 0.54	11.04 $\pm$ 0.57	15.06 $\pm$ 0.45	20.4 $\pm$ 0.57	2.92 $\pm$ 0.60
C	0	0	7.91 $\pm$ 0.64	7.8 $\pm$ 0.82	8.16 $\pm$ 0.56	13.4 $\pm$ 0.67	0

Tabla 1.3: EDS de las muestras de NdFeO<sub>3</sub>.

Figura 1.10: EDS de la muestra de  $\text{SmFeO}_3$  calcinada a  $700^\circ\text{C}$  sin sonicar.

Elem.	700°C Son. 2h wt %	700°C Son. 4h wt %	700°C wt %	800°C wt %	900°C wt %	1000°C wt %
Fe	$13.78 \pm 0.52$	$19.48 \pm 1.48$	$7.51 \pm 0.42$	$22.31 \pm 0.93$	$22.51 \pm 3.03$	$17.44 \pm 0.83$
Sm	$38.42 \pm 0.74$	$48.22 \pm 1.95$	$21.84 \pm 0.69$	$61.28 \pm 1.03$	$63.03 \pm 3.57$	$57.71 \pm 1.82$
O	$18.74 \pm 0.45$	$15.64 \pm 1.00$	$15.95 \pm 0.47$	$16.41 \pm 0.58$	$14.46 \pm 1.78$	$20.81 \pm 0.78$
C	$29.16 \pm 0.62$	$16.66 \pm 1.53$	0	$54.68 \pm 0.77$	0	$4.13 \pm 2.17$

Tabla 1.4: EDS de las muestras de  $\text{SmFeO}_3$ .

### 1.2.2.3. Difracción de Rayos X

A continuación se reportan los espectros obtenidos mediante la metodología descrita en ?? para cada temperatura de calcinación.

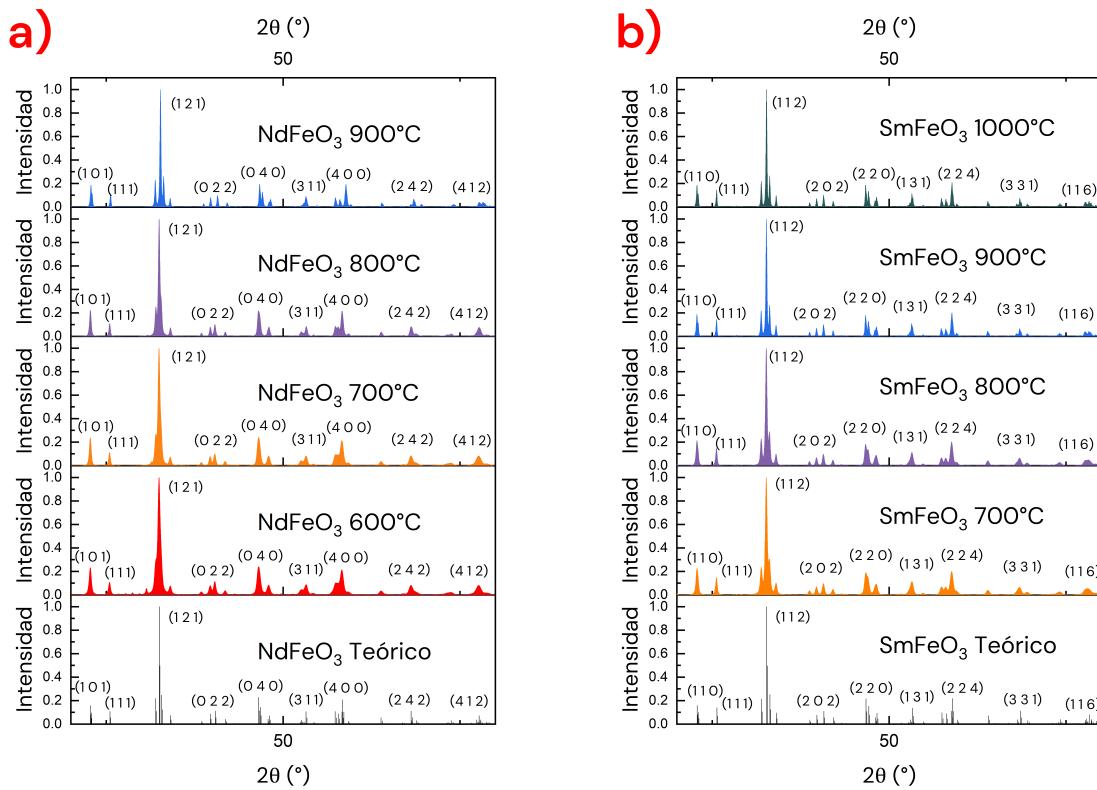


Figura 1.11: Espectros obtenidos mediante DRX de las muestras calcinadas a distintas temperaturas. a) Muestras de NdFeO<sub>3</sub>, b) Muestras de SmFeO<sub>3</sub>. En cada gráfica se indican entre paréntesis los ángulos de difracción para diferentes planos obtenidos de [1] y [2] respectivamente.

Se puede observar que los picos obtenidos coinciden con el espectro de la estructura reportada en [1] para el NdFeO<sub>3</sub> y en [2] para el SmFeO<sub>3</sub>.

Se observa el desdoblamiento del pico principal al aumentar la temperatura de calcinación entre 700 y 900°C, especialmente para el NdFeO<sub>3</sub>, esto sugiere un cambio de fase cristalina al realizar la síntesis a mayor temperatura.

A continuación se reportan los espectros obtenidos para las muestras sonicadas

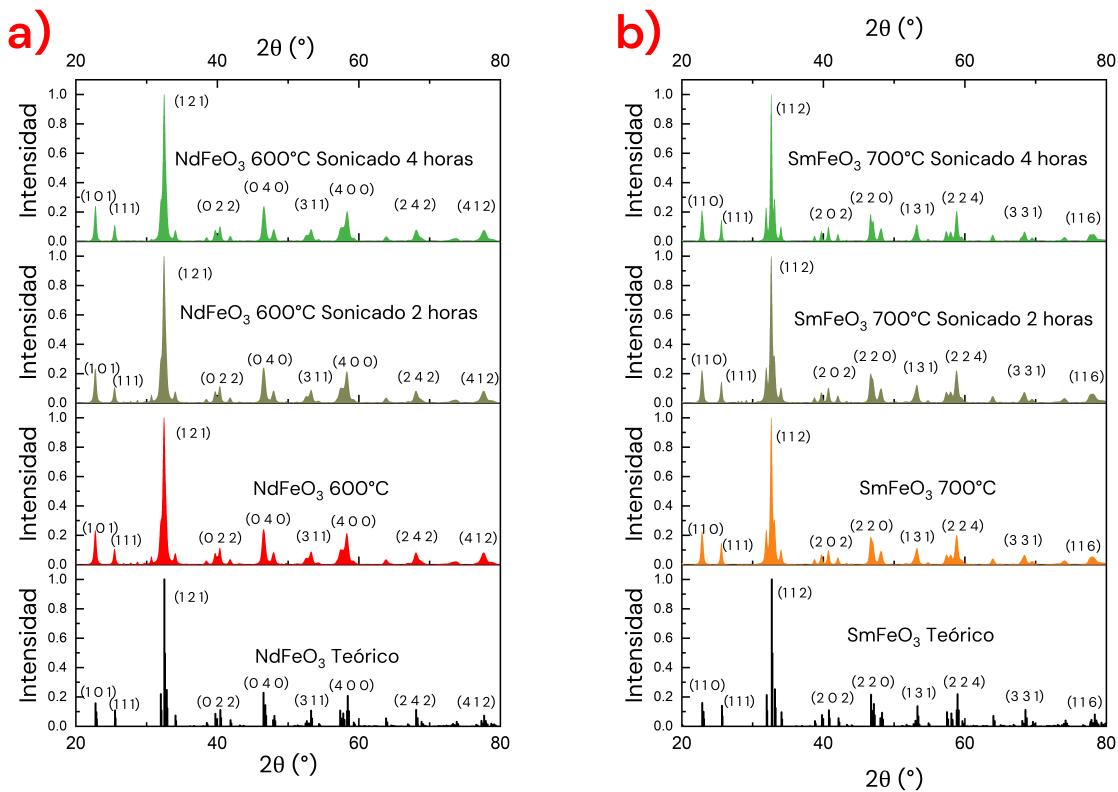


Figura 1.12: Espectros obtenidos mediante DRX de las muestras sonicadas. a) Muestras de  $\text{NdFeO}_3$ , b) Muestras de  $\text{SmFeO}_3$ . En cada gráfica se indican entre paréntesis los ángulos de difracción para diferentes planos obtenidos de [1] y [2] respectivamente.

No se observan cambios notorios entre los espectros al variar el tiempo de sonicación, por lo que no parece haber un cambio en la estructura cristalina.

### 1.2.2.3.1 Refinamiento Rietveld

Mediante esta técnica se obtuvieron espectros como los siguientes:

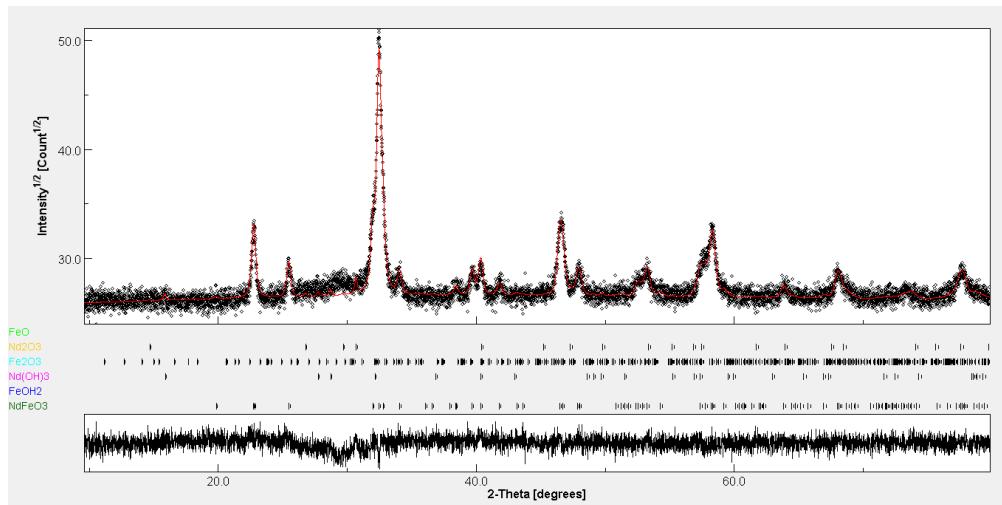


Figura 1.13: Refinamiento Rietveld de la muestra de NdFeO<sub>3</sub> calcinada a 600°C sin sonicar. Cada punto representa la intensidad de los rayos difractados medida a un ángulo de incidencia dado, la curva roja es el ajuste hecho por *MAUD* (panel superior). Estructuras utilizadas: NdFeO<sub>3</sub> [1], Nd(OH)<sub>3</sub> [3], Fe(OH)<sub>2</sub> [4], Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [5], Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [6], FeO [7] (panel inferior).

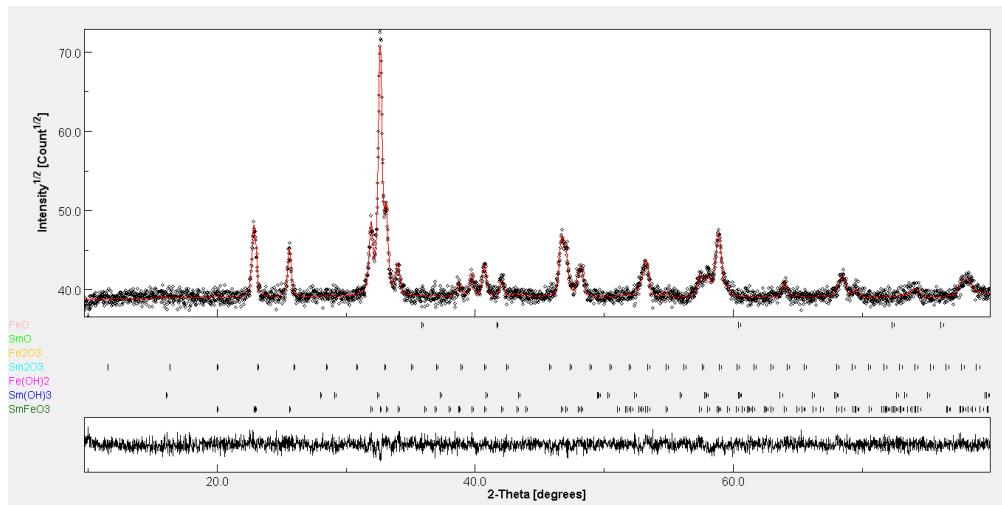


Figura 1.14: Refinamiento Rietveld de la muestra de NdFeO<sub>3</sub> calcinada a 600°C sin sonicar. Cada punto representa la intensidad de los rayos difractados medida a un ángulo de incidencia dado, la curva roja es el ajuste hecho por *MAUD* (panel superior). Estructuras utilizadas: SmFeO<sub>3</sub> [2], Sm(OH)<sub>3</sub> [8], Fe(OH)<sub>2</sub> [4], Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [9], Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [6], SmO [10], FeO [7] (panel inferior).

El resto de refinamientos pueden encontrarse en el anexo ??.

Mediante estos refinamientos se encontró que las muestras contienen las siguientes composiciones:

Muestra	NdFeO <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>2</sub>	Nd(OH) <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	$\chi^2$
600°C S 4 h	98.81±0.0	0.61±0.782	0.26±0.170	0.30±0.111	0±0	0±0	1.08
600°C S 2 h	95.73±0.0	0±0	1.38±0.231	2.62±0.188	0.24±0.649	0.00±0.309	1.21
600°C	96.97±0.0	0±0	1.16±0.163	1.49±0.1312	0.37±0.457	0±0	1.12
700°C	98.67±0.0	0±0	0±0	0.57±0.096	0.74±0.331	0±0	1.07
800°C	98.67±0.0	0.40±0.632	0±0	0.33±0.088	0.58±0.319	0±0	1.05
900°C	99.20±0.0	0±0	0±0	0.10±0.100	0.10±0.351	0.58±0.414	1.12

Tabla 1.5: Porcentaje del peso que representa cada una de las estructuras cristalinas presentes en cada muestra de NdFeO<sub>3</sub>.

Muestra	SmFeO <sub>3</sub>	Sm(OH) <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>2</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	$\chi^2$
700°C S 4 h	97.95±0.0	0.40±0.218	1.41±1.011	0.22±0.153	0±0	0±0	1.06
700°C S 2 h	98.19±0.0	1.22±0.260	0±0	0.56±0.184	0±0	0±0	1.10
700°C	99.17±0.0	0.35±0.176	0±0	0.19±0.150	0±0	0.27±0.358	1.07
800°C	98.90±0.0	0.41±0.175	0±0	0.37±0.149	0±0	0.30±0.353	1.06
900°C	98.65±0.0	0.41±0.178	0±0	0.69±0.151	0.23±0.484	0±0	1.08
1000°C	97.56±0.0	0.70±0.177	0±0	0.64±0.149	0±0	1.08±0.348	1.09

Tabla 1.6: Porcentaje del peso que representa cada una de las estructuras cristalinas presentes en cada muestra de SmFeO<sub>3</sub>.

Se observa que el método de síntesis utilizado produce muestras de pureza alta,  $\geq 95.73$  para el NdFeO<sub>3</sub> y  $\geq 97.95$  para el SmFeO<sub>3</sub>.

### 1.2.3. Análisis Óptico, Magnético y Eléctrico

#### 1.2.3.1. Espectroscopía UV-Vis

Mediante la metodología descrita en la sección ?? se obtuvieron las siguientes gráficas de absorbancia contra longitud de onda:

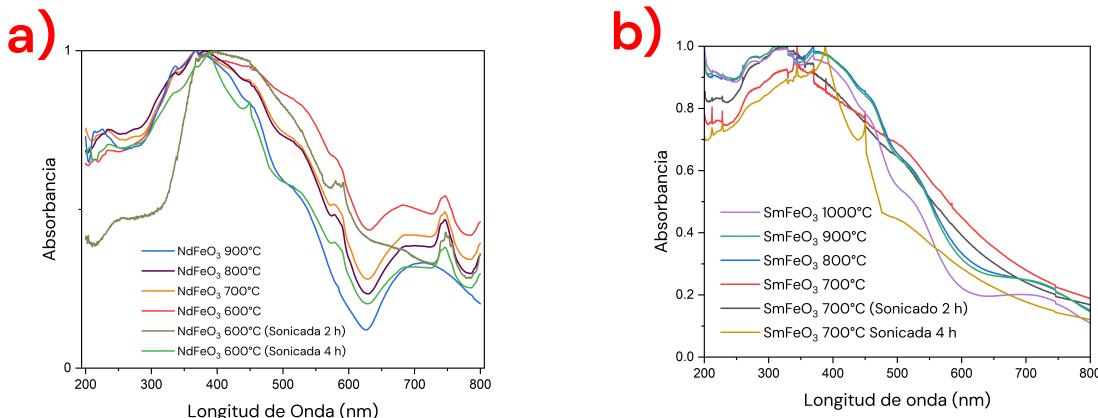


Figura 1.15: Gráficas de la absorbancia contra la longitud de onda para ambas ferritas.

Mediante los resultados anteriores se llegó a los siguientes *band gaps* para cada muestra:

Muestra	Temperatura de calcinación	<i>Band Gap</i> (eV)
$\text{NdFeO}_3$	600°C	1.84±0.003
	600°C, sonicada 2 h	2.01±0.001
	600°C, sonicada 4 h	2.13±0.009
	700°C	2.05±0.004
	800°C	2.08±0.005
	900°C	2.29±0.004
$\text{SmFeO}_3$	700°C	2.03±0.002
	700°C, sonicada 2 h	2.14±0.015
	700°C, sonicada 4 h	2.22±0.002
	800°C	2.20±0.001
	900°C	2.21±0.001
	1000°C	2.30±0.001

Tabla 1.7: *Band gaps* de las distintas muestras según su temperatura de calcinación. a) Muestras de  $\text{NdFeO}_3$ , b) muestras de  $\text{SmFeO}_3$

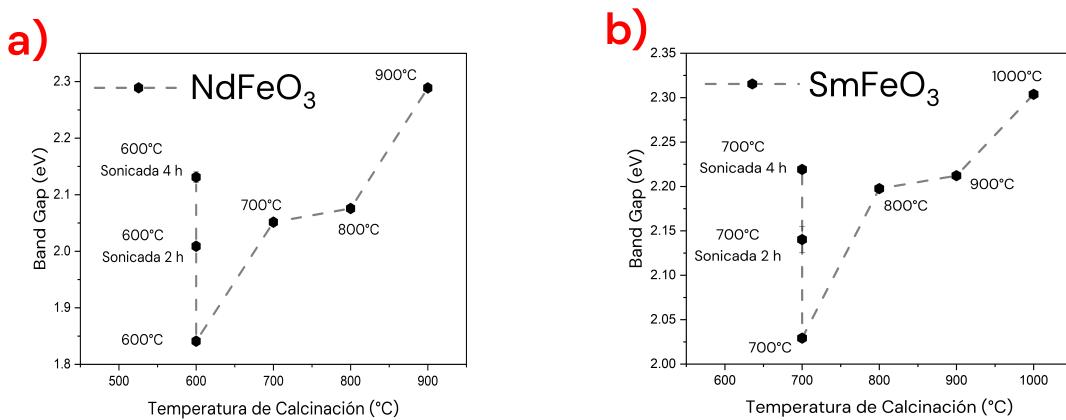


Figura 1.16: Gráfica del *band gap* de cada muestra según su temperatura de calcinación. a) Muestras de  $\text{NdFeO}_3$ , b) muestras de  $\text{SmFeO}_3$

En ambas ortoferritas se observa que el *band gap* aumenta con la temperatura y el tiempo de sonicación, teniendo en ambos casos un mínimo en la muestra calcinada a menor temperatura y sin sonicar.

### 1.2.3.2. Magnetometría SQUID

A continuación se presentan las mediciones magnéticas realizadas a las muestras de ambas ferritas calcinadas a 900°C, además de las muestras de  $\text{NdFeO}_3$  calcinadas a 600°C y de  $\text{SmFeO}_3$  calcinadas a 700°C, sin sonicar y sonicadas 4 h.

#### 1.2.3.2.1 Muestras de $\text{NdFeO}_3$

Se obtuvieron las siguientes curvas de  $M$  vs  $H$ :

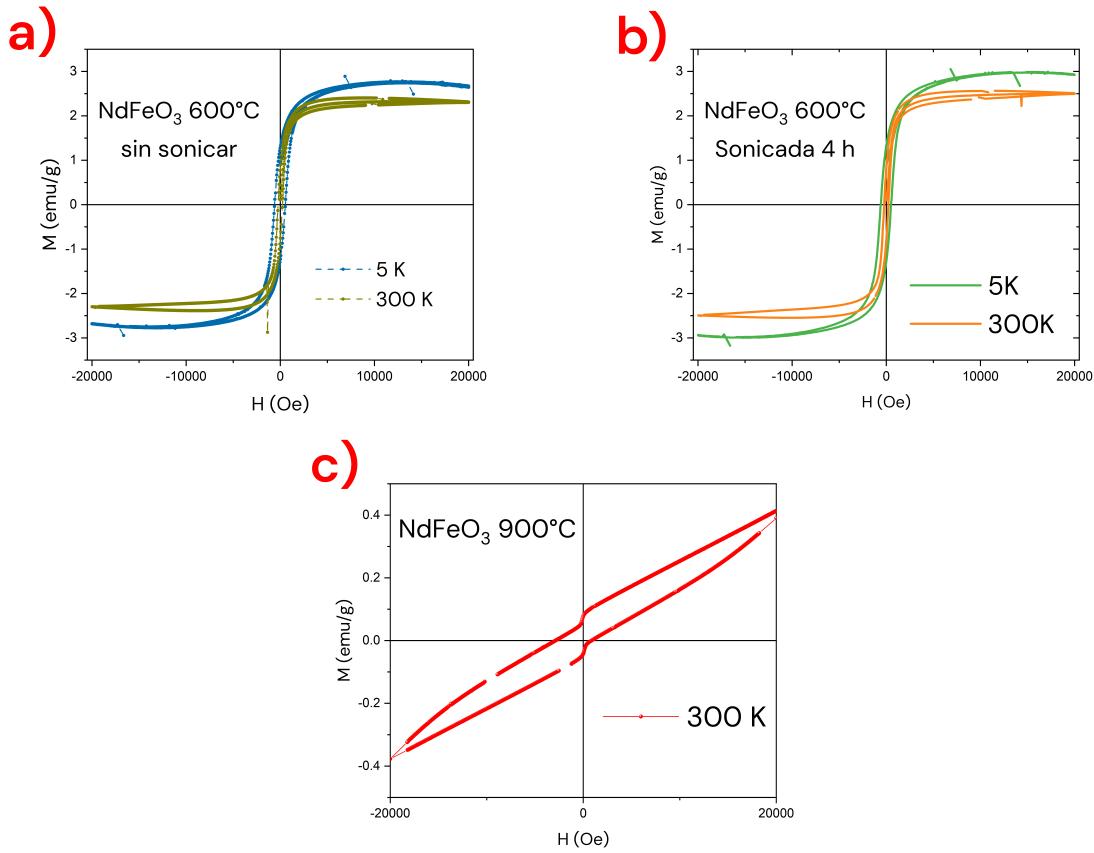


Figura 1.17: Curvas  $M$  contra  $H$  para las muestras de NdFeO<sub>3</sub>: a) calcinada a 600°C sin sonicar, b) calcinada a 600°C sonicada y c) calcinada a 900°C.

No se observa un cambio significativo con la sonicación, sin embargo, el comportamiento de la muestra es totalmente distinto según su temperatura de calcinación.

Las muestras calcinadas a 600°C muestran un comportamiento superparamagnético a temperatura ambiente, con  $H_c$  y  $M_r \approx 0$ , el cual, como es de esperarse para este tipo de material, tiende a ferromagnético al bajar la temperatura. Por otro lado, la muestra calcinada a 900°C muestra un comportamiento ferromagnético débil, lo cual es consistente con la estructura antiferromagnética reportada en [11].

A continuación se reportan los valores obtenidos para  $M_r$ ,  $M_s$  y  $H_c$ .

Muestra	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)
$T = 5$ K			
NdFeO <sub>3</sub> (600°C) sin sonicar	2.83±0.006	1.74±0.024	523.71±23.818
NdFeO <sub>3</sub> (600°C) sonicada 4 h	2.63±0.011	1.44±0.032	219.61±17.736
$T = 5$ K			
Muestra	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)
NdFeO <sub>3</sub> (600°C) sin sonicar	2.83±0.006	1.74±0.024	523.71±23.818
NdFeO <sub>3</sub> (600°C) sonicada 4 h	2.63±0.011	1.44±0.032	219.61±17.736
NdFeO <sub>3</sub> (900°C)	0.09±0.002	0.08±0.001	2832.19±53.892

Tabla 1.8: Valores de  $M_s$ ,  $M_r$  y  $H_c$  obtenidos para las muestras de NdFeO<sub>3</sub>.

Por otra parte, se obtuvieron las siguientes curvas  $M$  vs  $T$  y  $\chi$  vs  $T$ :

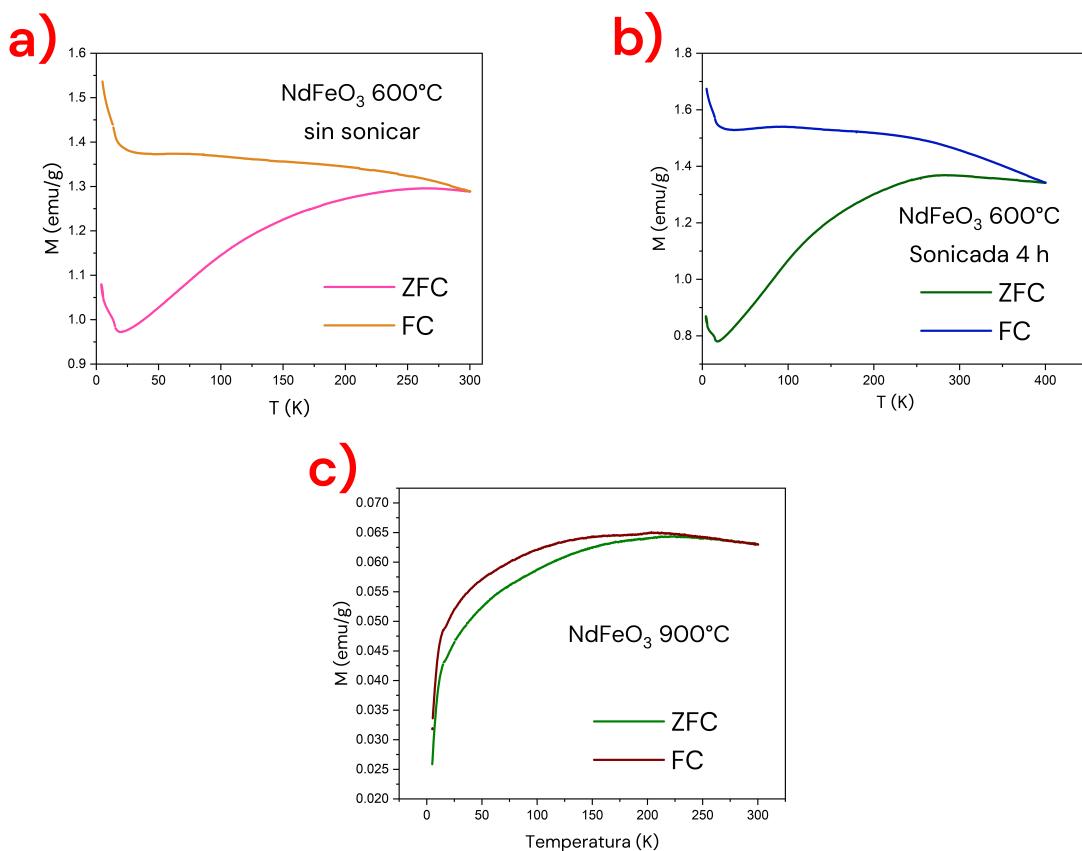


Figura 1.18: Curvas  $M$  contra  $T$  para las muestras de  $\text{NdFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada.

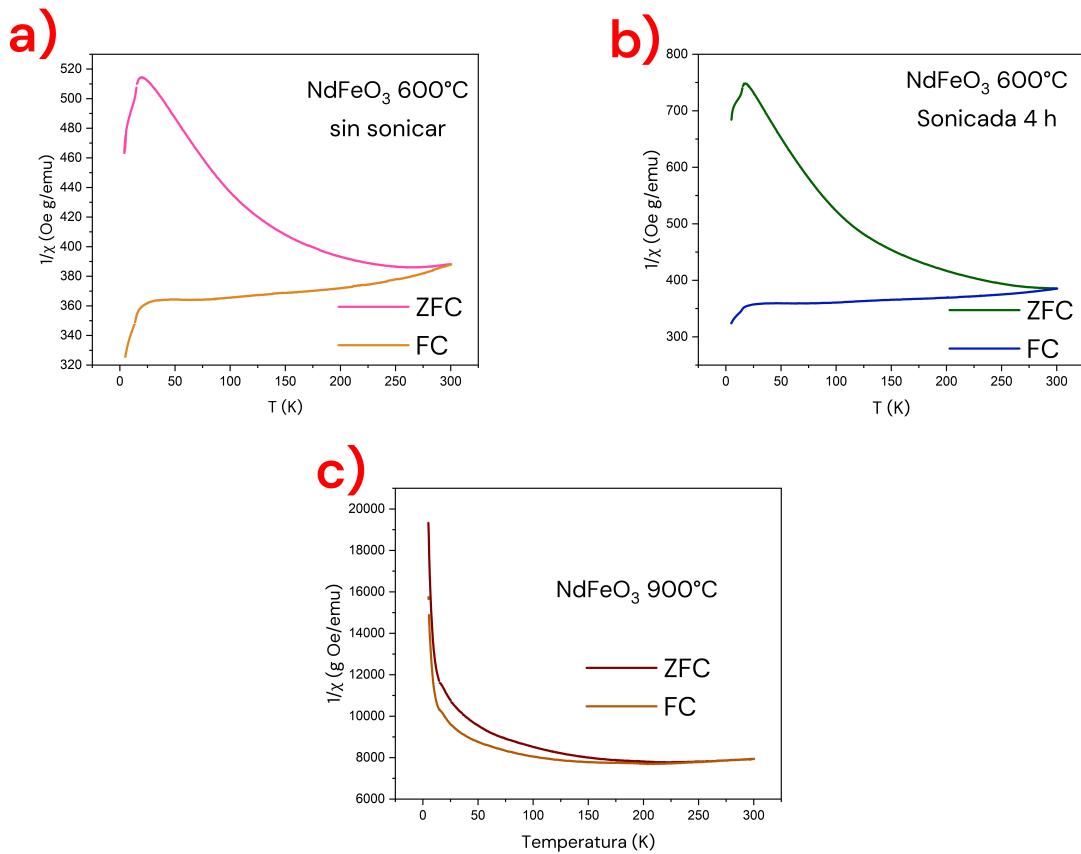


Figura 1.19: Curvas  $\chi$  contra  $T$  para las muestras de  $\text{NdFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada.

No se observa un cambio significativo entre las muestras sonicada y sin sonicar, pero sí un cambio con la temperatura de calcinación.

Para las muestras calcinadas a 600°C se observa un reordenamiento magnético alrededor de los 20 K ( $24.10 \pm 0.064$  K para la muestra sin sonicar,  $20.82 \pm 0.036$  K para la muestra sonicada), donde ocurre un mínimo local de  $M$  y  $\chi$ , además de una separación considerable de las curvas ZFC y FC, la cual se reduce a medida que aumenta la temperatura. Por otra parte, para la muestra calcinada a 900°C no se observa esta transición de fase, y las curvas ZFC y FC son muy similares entre sí.

### 1.2.3.2.2 Muestras de $\text{SmFeO}_3$

Se obtuvieron las siguientes curvas de  $M$  vs  $H$

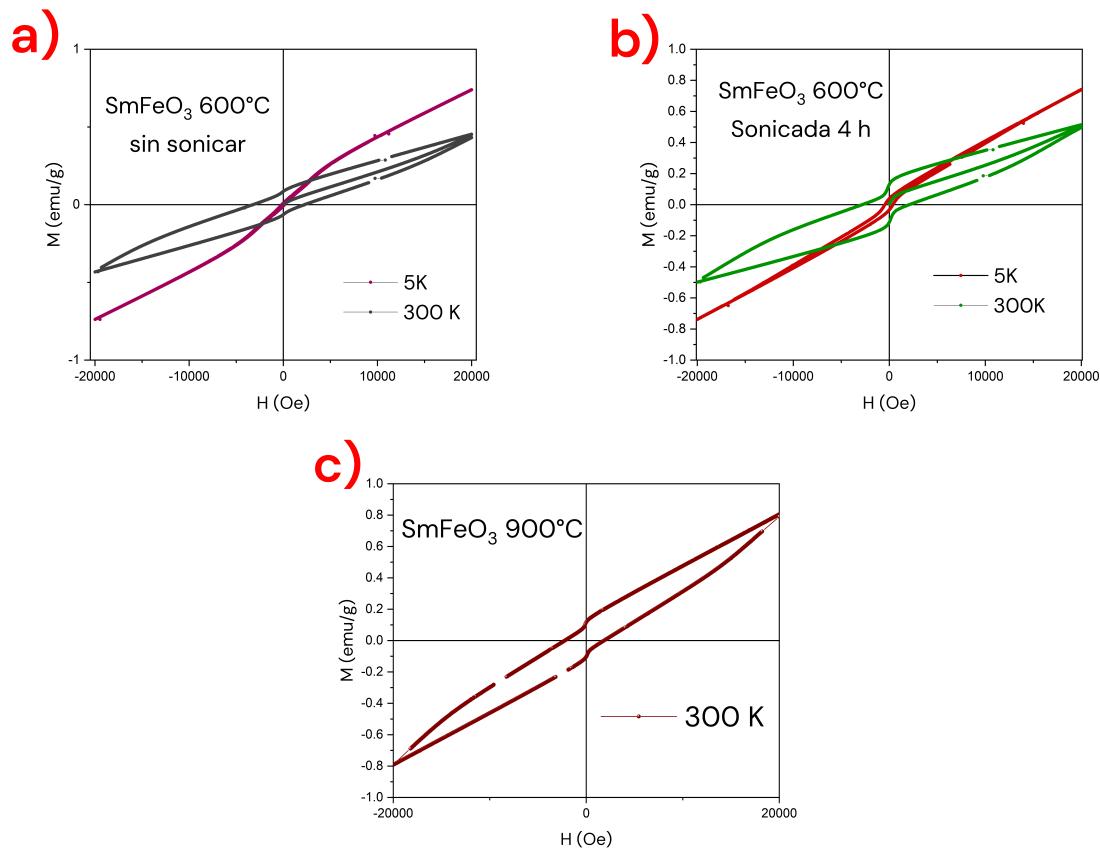


Figura 1.20: Curvas  $M$  contra  $H$  para las muestras de  $\text{SmFeO}_3$ : a) calcinada a  $600^\circ\text{C}$  sin sonicar, b) calcinada a  $600^\circ\text{C}$  sonicada y c) calcinada a  $900^\circ\text{C}$ .

A diferencia del  $\text{NdFeO}_3$ , las muestras de  $\text{SmFeO}_3$  muestran un comportamiento ferromagnético débil independientemente de la temperatura de calcinación. Se observa que en este caso la sonicación provocó una mejoría en las propiedades ferromagnéticas de la muestra calcinada a  $700^\circ\text{C}$ , observando incluso un ciclo de histéresis a  $5\text{ K}$ .

A continuación se reportan los valores obtenidos para  $M_r$ ,  $M_s$  y  $H_c$ .

Muestra	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)
$T = 5\text{ K}$			
$\text{SmFeO}_3$ ( $700^\circ\text{C}$ ) sin sonicar	$0.13 \pm 0.002$	$0.01 \pm 0.004$	$252.014 \pm 5.531$
$\text{SmFeO}_3$ ( $700^\circ\text{C}$ ) sonicada 4 h	$0.04 \pm 0.001$	$0.08 \pm 0.002$	$591.54 \pm 20.834$
$T = 300\text{ K}$			
$\text{SmFeO}_3$ ( $700^\circ\text{C}$ ) sin sonicar	$0.06 \pm 0.001$	$0.07 \pm 0.001$	$2206.76 \pm 41.575$
$\text{SmFeO}_3$ ( $700^\circ\text{C}$ ) sonicada 4 h	$0.17 \pm 0.002$	$0.12 \pm 0.001$	$1561.36 \pm 20.612$
$\text{SmFeO}_3$ ( $1000^\circ\text{C}$ )	$0.14 \pm 0.001$	$0.11 \pm 0.002$	$1835.08 \pm 37.872$

Tabla 1.9: Valores obtenidos para las muestras de  $\text{SmFeO}_3$ .

Por otra parte, se obtuvieron las siguientes curvas  $M$  vs  $T$  y  $\chi$  vs  $T$ :

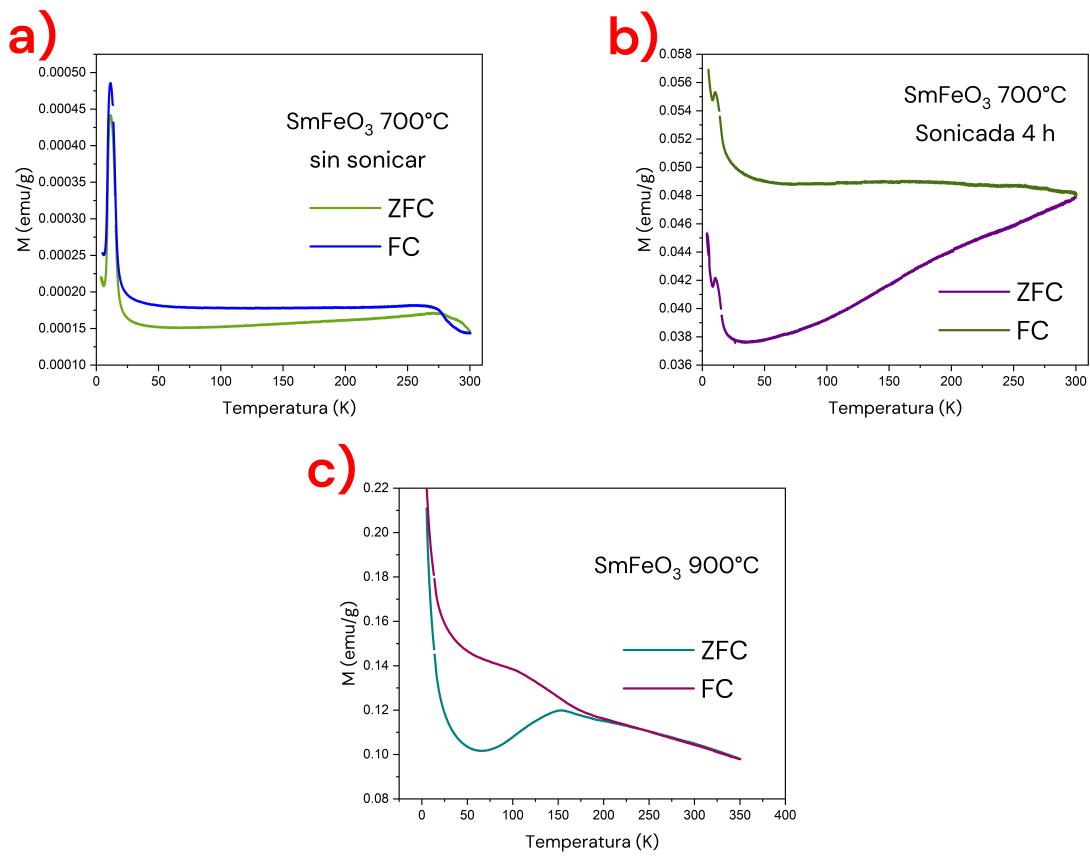


Figura 1.21: Curvas  $M$  contra  $T$  para las muestras de Sm<sub>2</sub>FeO<sub>3</sub>: a) sin sonicar y b) sonicada.

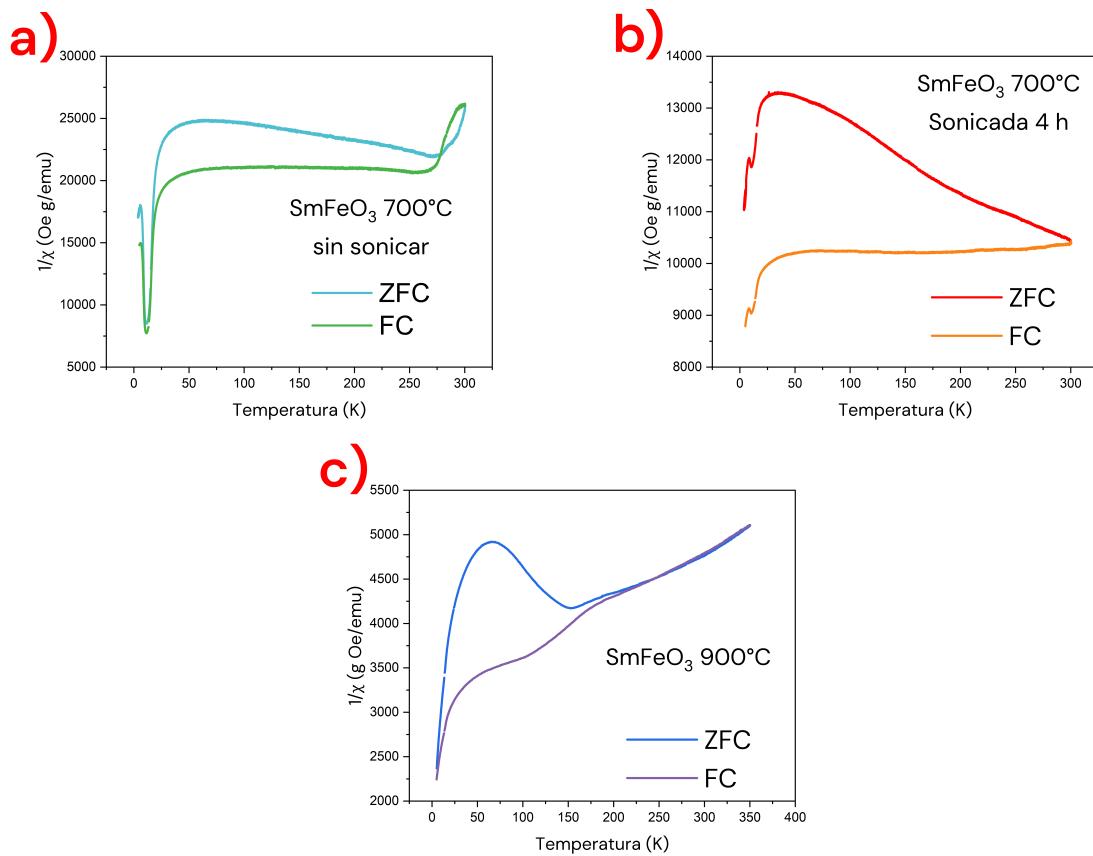


Figura 1.22: Curvas  $\chi$  contra  $T$  para las muestras de  $\text{SmFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada.

Las muestras de  $\text{SmFeO}_3$  presentan reordenamientos magnéticos a baja temperatura, teniendo un máximo local alrededor de 10 K para las muestras calcinadas a  $700^\circ\text{C}$  ( $11.86 \pm 0.014$  para la muestra sin sonicar y  $10.55 \pm 0.008$  para la muestra sonicada), y un mínimo local de  $M$  y  $\chi$  en  $69.00 \pm 0.098$  para la muestra calcinada a  $900^\circ\text{C}$ , sin embargo este comportamiento es mucho menos pronunciado para la muestra sonicada.

En este caso, se observa una separación considerable de las curvas ZFC y FC sólo en el caso de la muestra sonicada, lo cual indica que este proceso aumentó el efecto de la anisotropía para esta muestra.

### 1.2.3.3. Curvas de polarización

A continuación se reportan las curvas  $P$  vs  $E$  de las muestras sinterizadas descritas en la sección ??.

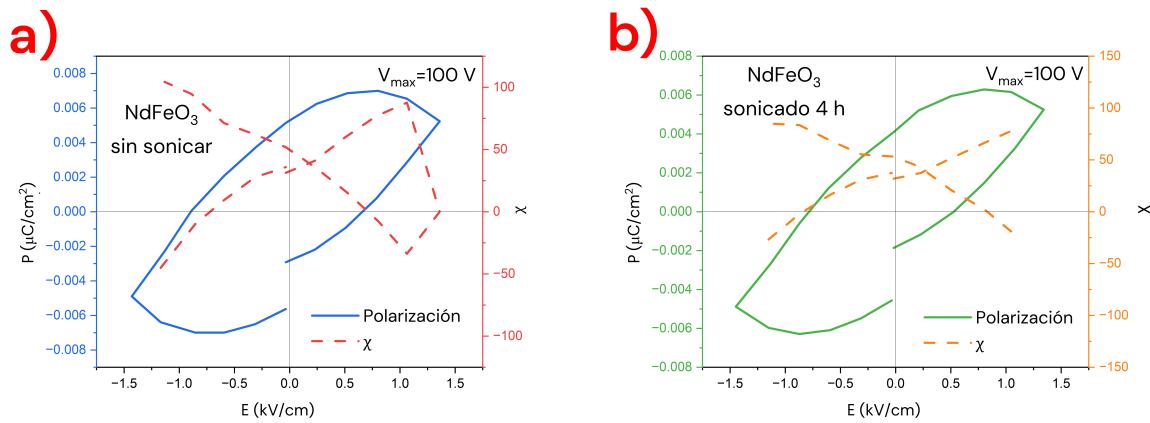


Figura 1.23: Curvas  $P$  contra  $E$  (eje izquierdo) y  $\chi$  contra  $E$  (eje derecho) con  $V_{\max} = 100$  V de las muestras de  $\text{NdFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada 4 h.

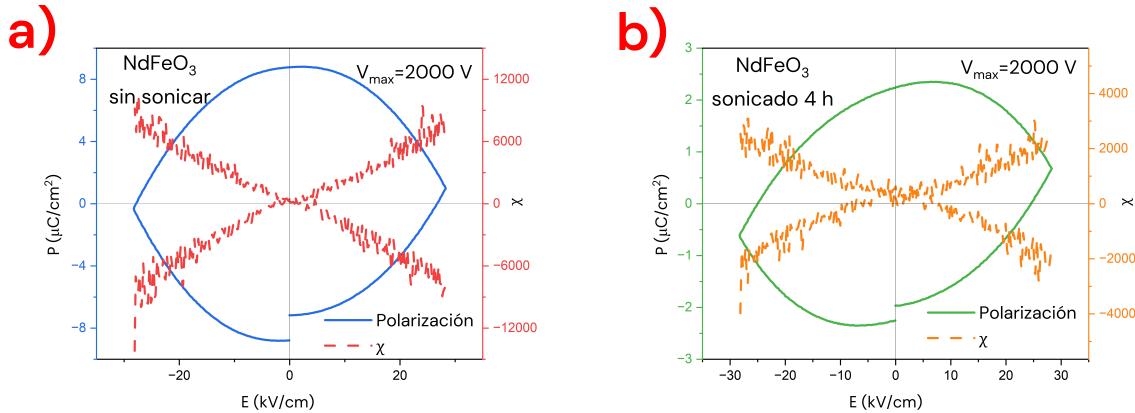


Figura 1.24: Curvas  $P$  contra  $E$  (eje izquierdo) y  $\chi$  contra  $E$  (eje derecho) con  $V_{\max} = 2000$  V de las muestras de  $\text{NdFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada 4 h..

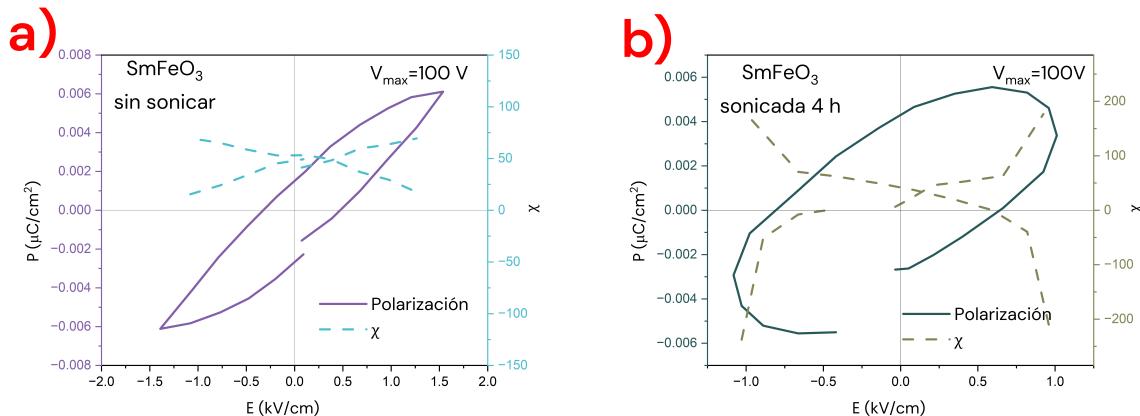


Figura 1.25: Curvas  $P$  contra  $E$  (eje izquierdo) y  $\chi$  contra  $E$  (eje derecho) con  $V_{\max} = 100$  V de las muestras de  $\text{SmFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada 4 h.

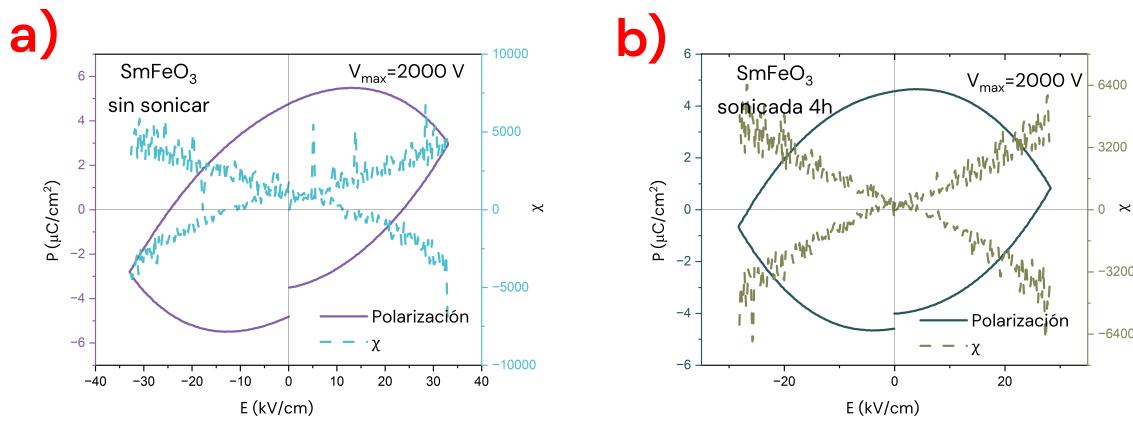


Figura 1.26: Curvas  $P$  contra  $E$  (eje izquierdo) y  $\chi$  contra  $E$  (eje derecho) con  $V_{\max} = 2000 \text{ V}$  de las muestras de  $\text{SmFeO}_3$ : a) sin sonicar y b) sonicada 4 h.

Se puede observar un comportamiento de histéresis débil sólo en las mediciones realizadas a  $V_{\max} = 100 \text{ V}$ , cuando se aumenta el voltaje, la polarización tiende a un comportamiento dependiente de la corriente similar al de un resistor, esto es de esperarse pues las muestras son semiconductores, por lo cual, al aplicar un campo eléctrico más grande, los electrones de valencia pueden recibir suficiente energía para saltar a la banda de conducción.

A continuación se reportan los valores obtenidos para  $P_r$ ,  $P_s$  y  $E_c$  para las mediciones con  $V_{\max} = 100 \text{ V}$ .

Muestra	$P_s (\mu\text{C}/\text{cm}^2)$	$P_r (\mu\text{C}/\text{cm}^2)$	$E_c (\text{kV}/\text{cm})$
$\text{NdFeO}_3$ sin sonicar	$0.0067 \pm 0.00036$	$0.0054 \pm 0.00012$	$0.7448 \pm 0.01392$
$\text{NdFeO}_3$ sonicada	$0.0062 \pm 0.00018$	$0.0044 \pm 0.00017$	$0.6651 \pm 0.08038$
$\text{SmFeO}_3$ sin sonicar	$0.0072 \pm 0.00032$	$0.0022 \pm 0.00062$	$0.3794 \pm 0.04913$
$\text{SmFeO}_3$ sonicada	$0.0054 \pm 0.00018$	$0.0037 \pm 0.00011$	$0.7354 \pm 0.05652$

Se observan valores pequeños de  $P_s$ ,  $P_r$  y  $E_c$  para todas las muestras. La sonicación no tuvo un efecto notorio en las propiedades eléctricas.

No se logró hacer una comparación contra la  $T$  de calcinación debido a que el proceso de sinterización se realizó a  $1000^\circ\text{C}$ .