



Primer Congreso Virtual de Ciencias Morfológicas.

Primera Jornada Científica de la Cátedra Santiago Ramón y Cajal.

Análisis comparativo de reveladores magnéticos por Microscopía Electrónica de Barrido y otras técnicas del estado sólido.

Geovanni J. Reyes¹, Santa Y. Balbier¹, Jesús Olalde¹ Dora Canetti², José R. Correa², Sergio Díaz³ Adrian Gómez⁴, Luis C. Otero-Díaz^{4,5}.

¹ Laboratorio Central de Criminalística, Zulueta No. 465 Habana, Cuba. ² Facultad de Química, Universidad de La Habana, 10400, Cuba. ³ Laboratorio de magnetismo. Instituto de Materiales, Universidad de La Habana, 10400, Cuba. ⁴ Centro de Investigación de Microscopía Electrónica, Universidad Complutense, E-28040, Madrid, España. ⁵ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense, E-28040, Madrid, España.

correa@fq.uh.cu

RESUMEN

Los polvos magnéticos son utilizados en el revelado de huellas dérmicas. Sus características magnéticas y morfológicas se combinan para obtener un mejor contraste sobre la huella. En este sentido los óxidos de hierro magnéticos poseen propiedades por la cuales forman parte de la composición de tales polvos, para evitar algunos efectos indeseables como la discontinuidad en las líneas de las huellas, así como la baja eficiencia de algunos reveladores cuando son utilizados en huellas envejecidas. El objetivo principal de este trabajo es la caracterización y comparación de polvos reveladores de importación mediante técnicas espectroscópicas y del estado sólido. Para la caracterización morfológica fueron utilizados los microscopios electrónicos de barrido y de transmisión. El análisis químico elemental fue desarrollado con la utilización de la fluorescencia de rayos-X. Para el análisis de fases se utilizó un difractómetro Philips y la medición de las propiedades magnéticas se llevó a cabo con un magnetómetro VSM3001 Oxford. Mediante la combinación de las técnicas empleadas se pudo determinar que los reveladores son materiales magnéticos blandos cuya composición mayoritaria son hierro, óxidos de hierro ó ferritas.

INTRODUCCIÓN

En los hechos delictivos suelen aparecer disímiles indicios dejados en el lugar por sus autores. Los peritos criminalistas que actúan en el denominado primer ataque, cuentan con las herramientas necesarias para la búsqueda y recolección de las huellas dérmicas [1]. Las huellas dérmicas son el resultado del contacto de la superficie externa de la piel (epidermis) sobre los distintos objetos. La presencia en el lugar del hecho de estas huellas, relacionan al autor del delito con el lugar del hecho, por lo que posibilitan el esclarecimiento de esos lamentables incidentes.

Para realizar la labor pericial los llamados especialistas del lugar del hecho poseen maletines operativos en cuyo contenido cuentan con polvos que se emplean para revelar las huellas dérmicas de sus matrices. Los polvos reveladores son utilizados teniendo en cuenta el tipo y el color de la superficie sobre la cual se aplicarán. Los más empleados son los reveladores magnéticos, debido a su fácil manejo con el pincel magnético, aditamento que permite eliminar el exceso de material sobre la huella, y deja solamente aquel que se impregna sobre las crestas papilares y no las destruye.

La ciencia forense cubana tiene como uno de sus objetivos el empleo de diferentes reveladores entre los que se destacan los magnéticos [2]. Con tal motivo se han producido reveladores de producción nacional que han resultado deficientes en ocasiones, sin embargo, se necesita tener un estudio referente que sirva como estándar para comparar con los productos acabados. A pesar de ello en la literatura especializada no se cuenta con datos que posibiliten un adecuado estudio comparativo entre los materiales de referencia [3].

Una de las principales propiedades que definen la calidad de un revelador es la morfología. Reportes en este sentido indican que una formulación del polvo debe contener el 1 % de partículas pequeñas. El tamaño de partículas se presenta entre 10 μm de largo y 0,5 μm de ancho. En algunas formulaciones con polvo de hierro metálico el tamaño puede estar entre 20 μm y menores [4].

El objetivo fundamental de la siguiente investigación fue caracterizar de manera cualitativa y semicuantitativa elemental y de fases algunos polvos magnéticos reveladores a través de la combinación de técnicas del estado sólido y el análisis químico: Microscopía electrónica de barrido (MEB), Microscopía electrónica de transmisión (MET), Fluorescencia de rayos-X (FRX), Espectroscopía infrarroja (IR) y Difracción de rayos-X (DRX), así como comparar los polvos magnéticos importados utilizados en nuestro país a través de sus propiedades físicas.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.- Muestras de polvos reveladores.

Se tomaron como referencia cinco muestras de polvos reveladores magnéticos de diferentes marcas y/o países, dos de la firma Sirchie: uno de color negro y otro gris plateado, uno de la marca L.T.C., uno Ruso y otro Japonés.

2.2.- Análisis por microscopía electrónico de barrido y de transmisión.

Para el análisis de los polvos reveladores por MEB se empleó un microscopio electrónico de barrido marca Tescan en condiciones de micro análisis y para estudios morfológicos a 200x, potencial acelerador de electrones de 20 kV, alto vacío con un sistema de detección de electrones secundarios y distancia de trabajo de 23 mm. Se tomó una porción de cada muestra, se colocaron directamente en un porta muestra d bronce. Con las fotos de los polvos reveladores obtenidas por MEB se procedió a determinar el tamaño de las partículas. Se hizo un histograma para cada polvo revelador magnético con los valores de las distancias de las partículas para visualizar la distribución de tamaño.

En el caso de la Microscopía Electrónica de Transmisión se utilizó un microscopio Philips CM200 FEG operado a 200 kV. Las muestras se dispersaron ultrasónicamente en butanol y luego se dejó caer una gota sobre una rejilla de cobre recubierta con carbón.

2.3.- Análisis por fluorescencia de rayos-X.

El espectrómetro de Fluorescencia de rayos-X convencional, empleado para el análisis fue uno marca Oxford Instrument ED2000 con anticátodo de Ag. Los polvos reveladores magnéticos fueron montados en portas y se ajustó el equipo para la determinación de elementos medios. Las condiciones fueron las siguientes: Tiempo muerto 45 %; medio ambiente; diferencia de potencial 25 keV e intensidad de corriente: 60 mA.

2.4.- Análisis por espectroscopía infrarroja.

El análisis por IR se realizó en un espectrómetro Jasco FT/IR-4100 type A con fuente de luz standard; detector TGS; acumulación de 80; resolución 4 cm⁻¹; apertura 7.1 mm; velocidad de escáner: 2 mm/sec. Para la preparación de las pastillas para el IR se pesó 1 mg de cada polvo revelador y 99 mg de KBr, para cada polvo revelador, se mezcla cada muestra con el KBr en un mortero hasta homogenizar y prensar.

2.5.- Análisis mediante la difracción de rayos-X.

Para la obtención de los difractogramas se utilizó un difractómetro Philips con radiación K α del cobre, con filtro de níquel, operado a 40 kV y 30 mA. La determinación de las fases presentes se realizó usando el método de Hanawalt tomando como referencia la base de datos JCPDS de la ASTM con el software *PC PDF Win*.

2.6.- Análisis magnetométrico de los polvos reveladores.

Para las mediciones magnetométricas las muestras se aglutinaron con una mezcla de Polimetacrilato de Metilo (polímero sólido) y Metacrilato de Metilo (monómero líquido) en una relación de 50 mg de muestra, 50 mg del polímero sólido y 5 gotas del monómero líquido hasta conformar un comprimido en forma esférica. El magnetómetro utilizado fue un VSM3001 Oxford a una temperatura entre 27 °C y 30 °C.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- *Caracterización de los polvos reveladores magnéticos importados.*

3.1.1.- *Análisis por microscopía electrónica de barrido.*

Las micrografías obtenidas por el microscopio electrónico de barrido, la tabla que relaciona el tamaño de partículas y los histogramas correspondientes a los polvos reveladores estudiados se muestran en las figuras 1 a 4 y tabla I.

De los resultados de la microscopía electrónica de barrido se puede comprobar el aspecto de las partículas de los polvos de importación y podemos inferir que, por ejemplo, el polvo Sirchie gris plateado, el ruso, y el japonés poseen uniformidad en cuanto a la forma de sus partículas ya que casi todas son de la misma forma. Las partículas representan esferas con mayor grado de deformidad en las del Sirchie gris plateado, y el japonés es el más homogéneo con partículas casi perfectamente esféricas; mientras que los restantes polvos muestran diferencias entre las morfologías de sus partículas presentándose como esferas deformes y cuadrados imperfectos.

Del análisis de los histogramas se puede concluir que el tipo de curva de distribución que presentan en la mayoría de los casos es del tipo Log-Normal. Se tiene que para los polvos reveladores magnéticos de coloración gris los histogramas muestran dos tipos de distribuciones lo cual indica que poseen dos poblaciones de partículas diferentes. En la primera distribución para el Sirchie, la mayoría de las partículas se encuentran alrededor de 35 y 25 μm y para la segunda están aproximadamente en los 150 μm , comportándose la curva para esta distribución del tipo Gaussiana o Normal. Para el ruso, en la primera distribución, la mayor parte de las partículas se encuentran alrededor de 25 y 35 μm y en la segunda están aproximadamente en los 60 y 90 μm . Los polvos reveladores magnéticos negros muestran en sus histogramas una sola distribución. La distribución del Sirchie negro es tal que la mayoría de las partículas se encuentra alrededor de los 50 y 60 μm aunque también exhibe una gran cantidad de partículas alrededor de los 25 y de los 100 μm , en tanto que en el japonés la mayor parte de las partículas se encuentran aproximadamente por los 25 μm y en el L.T.C., la mayoría de las partículas están alrededor de 75 μm .

Tabla I.- Tamaños de partículas de los polvos reveladores magnéticos

Polvo	Tamaño de partícula (µm)	
	(Medias Geométricas)	
Ruso Gris (1R)	40	90
Sirchie Plateado (2S)	30	150
Sirchie Negro (3S)	60	----
Japonés Negro (4J)	30	----
L.T.C. Negro (5L)	75	----

3.1.2.- *Análisis cualitativo y semicuantitativo por microscopía electrónica de barrido.*

Del análisis cualitativo de EDX por MEB de la muestra 1R – Ruso Gris se pudo constatar que el espectro de este revelador presenta picos intensos referentes al Fe, O, Zn, y con menor intensidad le siguen Ni y C. El Sirchie 2S presenta un pico intenso correspondiente al Fe y le siguen con baja intensidad los de C, O y Al; mientras que el Sirchie negro muestra un pico intenso correspondiente al Fe, le sigue el O y en menor proporción se encuentra el C. La muestra Japonés Negro presenta picos intensos correspondientes al Fe, Mn, O y con menor intensidad un pico correspondiente a la presencia de Zn. La muestra L.T.C. Negro presenta un pico intenso referente al C y con baja intensidad le siguen los de O, Fe, Si, Al y Mg. Los espectros obtenidos se muestran en las figuras de la 5 a la 9.

En la tabla II se presenta el análisis semicuantitativo de EDX por MEB de los reveladores importados. Se observa que el polvo revelador ruso posee el hierro como elemento en mayor proporción, le sigue el cinc, oxígeno, titanio, carbono y níquel, todos por encima de 1 %. La muestra del Sirchie gris, además del hierro, que es el elemento en mayor proporción y común para todos los polvos en estudio, posee carbono, oxígeno y aluminio, todos por encima del 1 %. La del Sirchie negro posee una composición parecida, con excepción de que no posee aluminio y el oxígeno se encuentra en mayor proporción que el carbono. El japonés presenta hierro, oxígeno, manganeso, carbono y cinc, todos superiores al 1 %. El polvo L.T.C. a diferencia del resto de demás reveladores presenta como elemento en mayor proporción el carbono, seguido de oxígeno, hierro, silicio y aluminio por encima del 1 % más el magnesio que se encuentra entre 0,1 y 1 %.

Como se puede apreciar, estos resultados corroboran los obtenidos anteriormente por las otras técnicas, o sea, los polvos japonés y ruso son los que presentan más impurezas elementales, además del hierro y el oxígeno que indican que el polvo contiene óxidos y/o ferritas. También hay polvos como el Sirchie plateado y el L.T.C. que presentan un alto contenido de carbono, elemento aportado por alguna materia prima que se utiliza para su fabricación, como por ejemplo, el hollín; incluso el L.T.C. posee el nivel de carbono por encima del hierro.

3.1.3.- Análisis cualitativo y semicuantitativo por fluorescencia de rayos-X.

Del análisis cualitativo de las muestras se revela lo siguiente: la muestra 1R presenta en su espectro de FRX un pico intenso referente al Fe y decreciendo en intensidad le siguen picos correspondientes al Zn, Ni, y con menor intensidad el Ti. En el caso de 2S se presenta solamente un pico intenso correspondiente al Fe. El espectro del revelador 4J presenta un pico elevado referente al Fe y decreciendo en intensidad le siguen picos correspondientes al Mn, Zn y con menor intensidad Ni. La muestra 5L presenta un pico elevado referente al Fe y con menor intensidad un pico mostrando Cr.

Tabla II.- Análisis semicuantitativo de EDX de los polvos reveladores.

X	Tanto por ciento de masa (%)				
	Ruso	Sirchie	Sirchie	Japonés	L.T.C.
	1R	2S	3S	4J	5L
C	5.79	34.23	6.45	8.53	58.03
O	25.6	6.24	24.2	24.37	22.2
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47
Al	0.00	1.6	0.00	0.00	1.15
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65
Ti	6.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	16.36	0.00
Fe	28.95	57.93	69.35	45.91	16.5
Ni	4.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	28.29	0.00	0.00	4.82	0.00

En las figuras de la 10 a la 13 se muestran los espectros de fluorescencia de rayos-X de los polvos reveladores importados.

Como se observa, los polvos reveladores magnéticos importados contienen además de hierro (elemento determinante en las propiedades magnéticas), otros elementos que pueden ser impurezas o provenir de la materia prima con la que se fabrican; de los polvos extranjeros los de mayor pureza elemental son los de marca Sirchie que solamente contienen hierro, por lo

que nos sirve como patrón en el análisis de FRX para compararlo con el revelador magnético RMC.

En el análisis cualitativo del revelador gris de procedencia rusa, se observa la presencia de cinc y níquel en gran proporción. También el revelador japonés presenta en su composición elementos de transición, pero en este caso manganeso y cinc.

A partir de los resultados del análisis químico semicuantitativo se descarta la idea de que los polvos reveladores magnéticos estudiados sean tóxicos al ser humano o contaminar el ambiente.

3.1.4.- Análisis mediante espectroscopía IR.

Los espectros IR de los reveladores importados se exhiben en las figuras 14 a 18. Se observan en la mayoría de los casos dos bandas por debajo de 1000 cm^{-1} que son características de las vibraciones de la red de los óxidos de hierro. Para los polvos importados, excepto en el L.T.C., las bandas características son fundamentalmente de espinela por lo que se infiere, teniendo en cuenta que las impurezas son de metales como níquel, manganeso y/o cinc, que nos encontramos en presencia de ferritas de dichos metales.

En las tablas III hasta la VII se reportan las bandas observadas para cada muestra.

Tabla III.- Asignación de las bandas IR del espectro del revelador Ruso Gris.

$\bar{\nu}/\text{cm}^{-1}$	Asignación
3420	ν_{HOH}
3250 (h)	ν_{HOH}
2950-2800	$\nu_{\text{Csp}^3\text{-H}}$
1640	δ_{HOH}
872, 800	$\nu_{\text{Deformación FeO(H)Fe}}$
529	$\nu_{\text{Puentes Fe-O-Fe}}$
417	$\nu_{\text{FeO...Fe}}$

Con la detección de las bandas correspondientes a las vibraciones de la red Fe-O se confirma la presencia de hierro y oxígeno analizado cualitativamente por FRX y por MEB y la existencia de fases como el gamma óxido de hierro(III), entre otras fases, obtenidas por DRX. Además se comprueba, por ejemplo, que los polvos de marca Sirchie tienen el mismo comportamiento, como ya antes se vio en FRX ambos polvos contienen hierro solamente, en IR, tienen las mismas bandas y con igual intensidad; también se observa que el espectro del polvo L.T.C.

presenta bandas alrededor de los 800 y 900 cm^{-1} correspondientes a la goethita, una a 1020 cm^{-1} intensa, así como dos hombros a 1193 y 1126 cm^{-1} , que se pueden asignar a la lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$), adicionalmente aparecen a 565 y 360 cm^{-1} bandas que pueden ser asignadas a magnetita y una a 352 cm^{-1} a hematita. Por todo lo anterior se puede inferir que este material se ha obtenido por precipitación de oxihidróxidos, seguido de su reducción parcial con carbono.

Tabla IV.- Asignación de las bandas IR del espectro del revelador Sirchie Plateado.

$\bar{\nu} / \text{cm}^{-1}$	Asignación
3420	ν_{HOH}
3250 (h)	ν_{HOH}
2950-2800	$\nu_{\text{Csp}^3\text{-H}}$
1640	δ_{HOH}
672	$\nu_{\text{Puentes Fe-O-Fe}}$
377	$\nu_{\text{FeO...Fe}}$

Tabla V.- Asignación de las bandas IR del espectro del revelador Sirchie Negro.

$\bar{\nu} / \text{cm}^{-1}$	Asignación
3420	ν_{HOH}
3250 (h)	ν_{HOH}
2950-2800	$\nu_{\text{Csp}^3\text{-H}}$
1640	δ_{HOH}
567	$\nu_{\text{Puentes Fe-O-Fe}}$
455, 392	$\nu_{\text{FeO...Fe}}$

Tabla VI.- Asignación de las bandas IR del espectro del revelador Japonés Negro.

$\bar{\nu} / \text{cm}^{-1}$	Asignación
3420	ν_{HOH}
3250 (h)	ν_{HOH}
2950-2800	$\nu_{\text{Csp}^3-\text{H}}$
1640	δ_{HOH}
566	$\nu_{\text{Puentes Fe-O-Fe}}$
440	$\nu_{\text{FeO...Fe}}$

Tabla VII.- Asignación de las bandas IR del espectro del revelador L.T.C. Negro.

$\bar{\nu} / \text{cm}^{-1}$	Asignación
3420	ν_{HOH}
3250 (h)	ν_{HOH}
2950-2800	$\nu_{\text{Csp}^3-\text{H}}$
1640	δ_{HOH}
893, 793	$\nu_{\text{Deformación FeO(H)Fe}}$
552	$\nu_{\text{Puentes Fe-O-Fe}}$
471, 430, 378	$\nu_{\text{FeO...Fe}}$

3.1.5.- *Análisis de difracción de rayos-X.*

Los resultados del análisis de rayos-X de los polvos reveladores de importación, debido al volumen de información que contienen, no se muestran acá, pero se pueden solicitar directamente a los autores. En el epígrafe 3.2 se presenta un resumen del análisis de fases.

3.1.6.- *Análisis de las propiedades magnéticas.*

A partir de las características de los lazos de histéresis se extrajeron los valores particulares de magnetización de saturación M_s , magnetización remanente M_r y coercitividad H_c , para los polvos reveladores magnéticos estudiados. En la tabla VIII siguiente se agrupan los valores de dichas propiedades y también aparece la relación M_r/M_s .

Tabla VIII.- Propiedades magnéticas de los polvos reveladores magnéticos.

Reveladores	Hc / Oe	Ms / emu	Mr / emu	Mr/Ms
1R	163	0,20	0,045	0,23
2S	172	0,59	0,046	0,078
3S	180	0,30	0,056	0,19
4J	198	0,046	0,013	0,28
5L	266	0,096	0,022	0,23

Como se observa en la tabla VIII, los valores de Hc se encuentran por debajo de 400 Oe y la relación Mr/Ms proporciona un resultado cercano a cero. Con este análisis se puede asegurar que los polvos estudiados son productos ferrimagnéticos blandos.

3.2.- *Discusión de los resultados.*

Con la combinación de las técnicas empleadas es posible realizar un estudio comparativo con los polvos reveladores magnéticos importados y utilizados por los peritos en su quehacer diario.

En la tabla IX se presenta un resumen con la combinación de diferentes técnicas.

De las fotos obtenidas durante el análisis a través de los microscopios electrónicos de barrido y de transmisión se pueden visualizar los diferentes tipos y formas de partículas que presentan estos polvos, lo cual posibilita diferenciarlos entre ellos. Aunque en otros aspectos tengan un comportamiento similar también se pueden diferenciar por la forma, tamaño y distribución de las partículas; este es el caso de los polvos reveladores magnéticos de la marca Sirchie ya que el Sirchie gris plateado tiene la mayoría de las partículas de la misma forma y tamaño y las del Sirchie negro, presentan diferencias en cuanto a estas dos variables.

Tabla IX.- Resumen de la combinación de los resultados en el análisis de los reveladores magnéticos.

Elemento	Tanto por ciento de masa (%) EDX				
Químico	1R	2S	3S	4J	L.T.C.
C	5.79	34.23	6.45	8.53	58.03
O	25.6	6.24	24.2	24.37	22.2
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47
Al	0.00	1.6	0.00	0.00	1.15
Si	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65
Ti	6.86	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	16.36	0.00
Fe	28.95	57.93	69.35	45.91	16.5
Ni	4.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	28.29	0.00	0.00	4.82	0.00
DRX	(NiZn)Fe ₂ O ₄ ZnO TiO ₂	Fe	Magnetita Hematita	Ferrita Mn-Zn	Grafito Ferrita de Mg goethita Silicato
Color	Gris	Plateado	Negro	Negro	Negro

No es adecuado que todas las partículas tengan el mismo tamaño. Como se explicó anteriormente, deben existir partículas grandes y pequeñas y estas últimas deben representar aproximadamente el 1 % del polvo. Si se tiene en cuenta este aspecto los mejores polvos serían el Sirchie negro y el ruso cuyas partículas no son perfectamente esféricas pero están bien distribuidas en cuanto a tamaño. Podemos apreciar además que, aunque el japonés tiene sus partículas perfectamente esféricas, estas son muy pequeñas.

A partir de los resultados de este trabajo podemos concluir que la característica esencial de un revelador magnético es la presencia en su composición de una fase ferri o ferromagnética blanda (H_c entre 160 y 270 Oe) con tamaños de partículas que oscilan en el intervalo de 20 y 250 μm y que la fase no magnética pudiera ser la determinante del color del producto.

4.- CONCLUSIONES

1. A partir de la correlación de los resultados las técnicas del estado sólido y el análisis químico: MEB, MET, FRX, IR y DRX, se comprobó la diversidad en cuanto a la composición elemental y de fases que presentan los polvos reveladores estudiados cuyos tamaños de partículas se encuentran en el intervalo de 20 y 250 μm .
2. Mediante el análisis de las propiedades magnéticas de los polvos reveladores: Ruso 1R, Sirchie 2S y Sirchie 3S, Japonés 4J y L.T.C. 5L, se pudo determinar que son materiales magnéticos blandos con valores de coercitividad que oscilan entre 160 y 270 Oe.

5.- RECOMENDACIONES

Aplicar la metodología empleada en la caracterización de nuevos reveladores magnéticos de producción nacional.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Barada, L; Silva, L. E. (2007) Workshop on fingerprint development. DEE, MININT, Cuba.
- 2.- Ayarde, F. (2005) Procedimiento para la obtención de polvo revelador termopapiloscópico – magnético óxido de hierro - Guaso I. MININT, Cuba.
- 3.- D. Canetti, J.R. Correa, J. Olalde, C. Toledo, A. Gómez, L. C. Otero-Díaz. SEM and TEM Characterization of Magnetic Powder Used by Cuban Legal Medicine for Fingerprints Detection. 9th Inter American Congress of Electron Microscopy. Sept. 23-28, 2007. Cuzco, Perú.
- 4.- Non porous prints (2011)
http://www.hull.ac.uk/Hull/Chem_Web/sherlock/Fingerprints_non%20porous.htm

AGRADECIMIENTOS

A técnicos y demás colegas del LCC, Facultad de Química e Instituto de Materiales de la UH, a los colegas del CAI de Difracción de rayos X de la UCM, España, por apoyar incondicionalmente la realización de esta investigación.

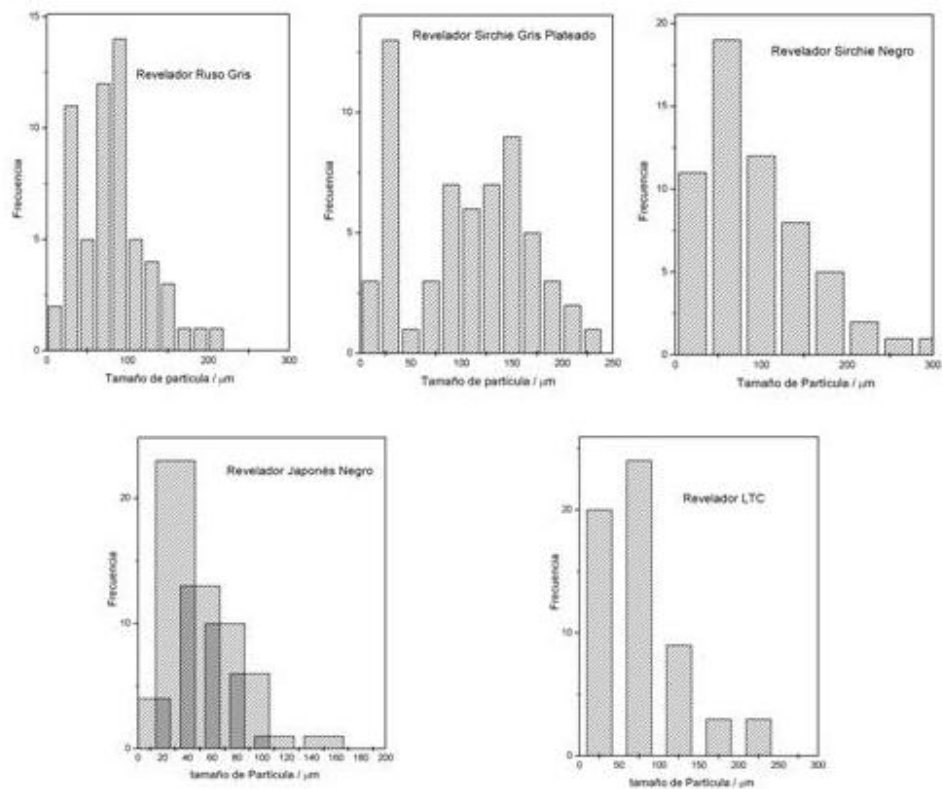


Fig. 4.- Histogramas de la distribución de los tamaños de partículas de los reveladores objeto de estudio.

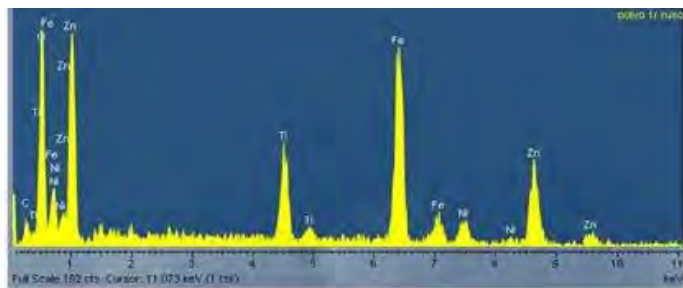


Fig. 5.- Espectro obtenido por MEB del polvo revelador magnético Ruso Gris.

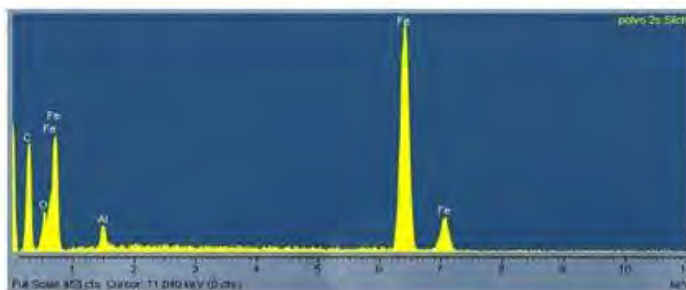


Fig. 6.- Espectro obtenido por MEB del polvo Sirchie Gris Plateado.

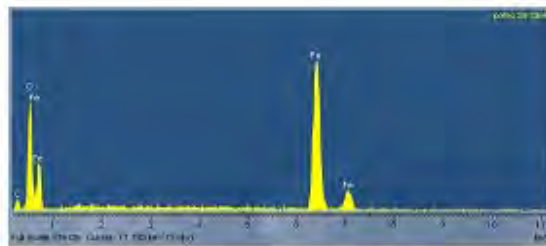


Fig. 7.- Espectro obtenido por MEB del polvo Sirchie Negro Regular

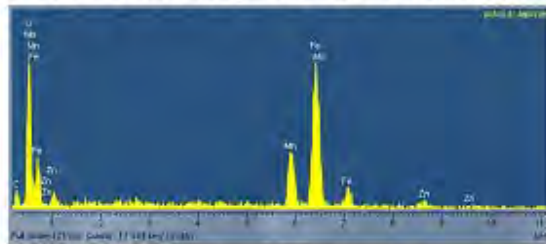


Fig. 8.- Espectro obtenido por MEB del polvo Japonés Negro.

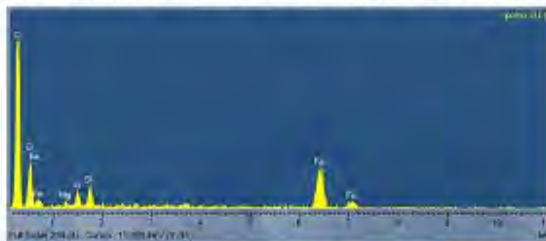


Fig. 9.- Espectro obtenido por MEB del polvo L.T.C. Negro.

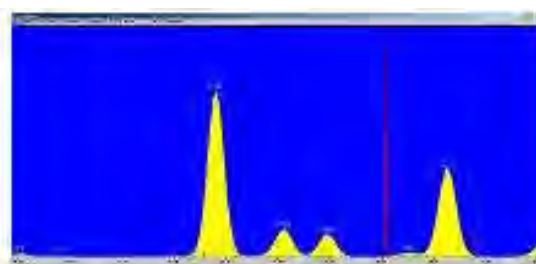


Fig. 10.- Espectro obtenido por FRX del polvo revelador magnético Ruso Gris.

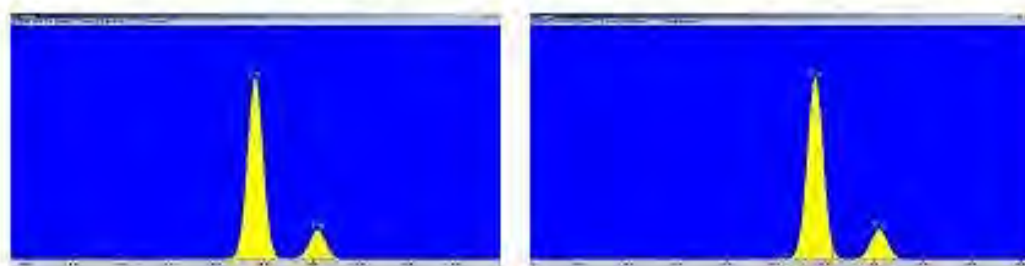


Fig. 11.- Espectros obtenidos por FRX del polvo revelador magnético Sirchie Plateado (Izq.) y Sirchie Negro Regular (Der).

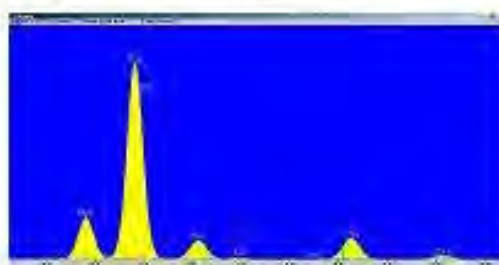


Fig. 12.- Espectro obtenido por FRX del polvo revelador magnético Japonés Negro.

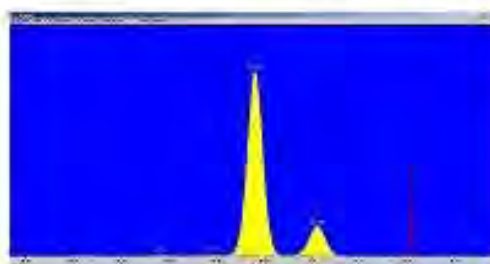


Fig. 13.- Espectro obtenido por FRX del polvo revelador magnético L.T.C. Negro.

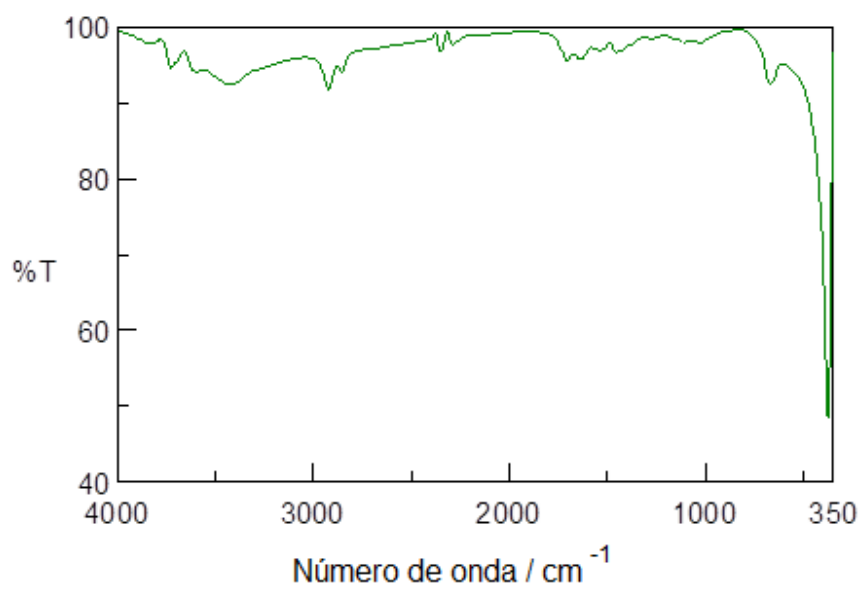


Fig. 14.- Espectro IR del revelador magnético Ruso Gris.

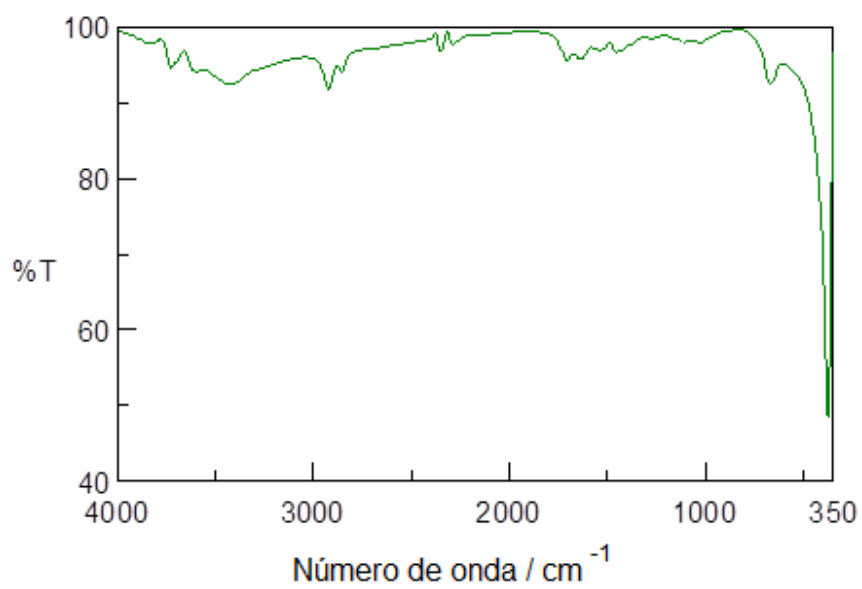


Fig. 15.- Espectro IR del revelador magnético Sirchie Plateado

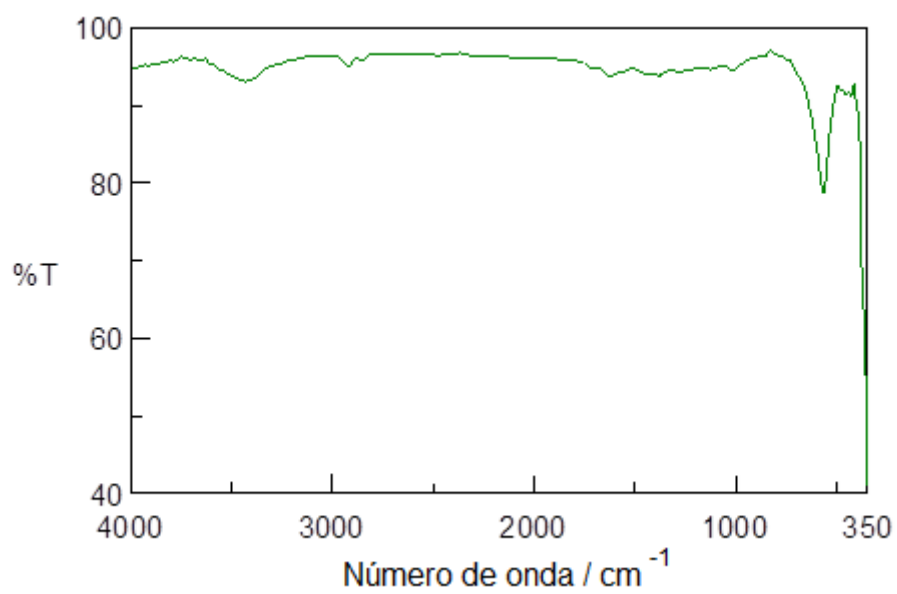


Fig. 16.- Espectro IR del revelador magnético Sirchie Negro.

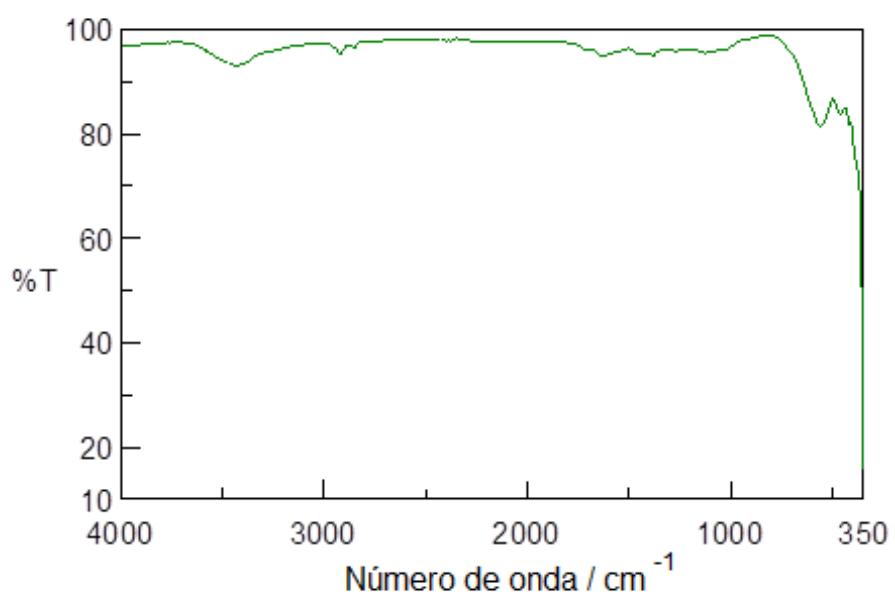


Fig. 17.- Espectro IR del revelador magnético Japonés Negro.

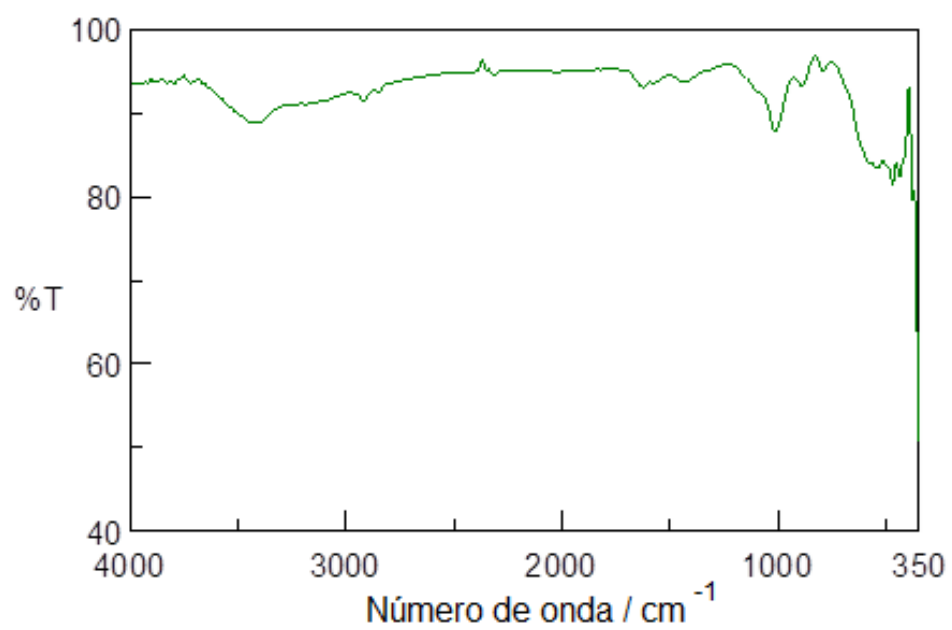


Fig. 18.- Espectro IR del revelador magnético L.T.C. Negro.