



Estudio del meteorito Hoba por Espectroscopía Mössbauer y Microsonda Electrónica

Angel E. Rivas^{1*}, Nelson Falcón¹, Fernando González-Jiménez², Edgar Jaimes² y Carlos Rojas³

¹Dpto. de Física, Facultad de Ciencias y Tecnología, UC, Valencia 2001, Venezuela

²Dpto. de Física, Facultad de Ciencias, UCV, Apdo 47586, Caraca, Venezuela

³Centro de Microscopía Electrónica, Facultad de Ciencias, UCV, Caracas, Venezuela

*aerivas1@uc.edu.ve

Resumen

En este trabajo presentamos los resultados preliminares del estudio de un fragmento del meteorito Hoba (Grootfontein, Namibia) por Espectroscopía Mössbauer y microsonda electrónica. Los espectros Mössbauer fueron obtenidos con un espectrómetro de transmisión en modo triangular simétrico, usando una fuente de Co⁵⁷/Rh. El análisis por microsonda electrónica se hizo mediante la técnica WDS. Los resultados muestran que el meteorito Hoba contiene en mayor proporción una aleación de Fe-Ni pobre en Ni, compatible con la fase kamacita, con un campo hiperfino de 335 kG a temperatura ambiente, y una aleación Fe-Ni rica en Ni compatible con la fase taenita.

Palabras clave: Meteorito Hoba, Espectroscopía Mössbauer, Microsonda Electrónica, Kamacita, Taenita.

Mössbauer spectroscopy and Electronic microprobe study of the Hoba Meteorite

Abstract

In this work we show the preliminary results of the Mössbauer Spectroscopy and electronic microprobe study of a fragment of the Hoba meteorite (Grootfontein, Namibia). The Mössbauer spectra were obtained with a transmission spectrometer in triangular symmetrical mode, using a Co⁵⁷/Rh source. The analysis by electronic microprobe became by means of WDS technique. The results show that the Hoba meteorite contains in greater proportion a Fe-Ni alloy poor in Ni, compatible with the kamacite phase, with a hyperfine field of 335 kG at room temperature, and a Fe-Ni alloy rich in Ni, compatible with the taenite phase.

Key words: Hoba meteorite, Mössbauer Spectroscopy, Electronic microprobe, Kamacite, Taenite.

Introducción

El estudio de los meteoritos metálicos (conocidos en inglés como iron meteorites), compuestos principalmente por aleaciones de Fe-Ni en dos fases llamadas kamacita y taenita, ha sido siempre de gran interés por la información que pueden aportar sobre el pasado remoto de nuestro sistema solar. Está plenamente establecido que tales aleaciones se han formado a una tasa de enfriamiento de alrededor 1°C/millón de años.

El meteorito Hoba ha adquirido fama por estar entre los de mayor tamaño que han impactado la tierra. El Hoba es el fragmento de meteorito más grande conocido, con un peso aproximado de 60 toneladas (Mason, 1962). Este meteorito cayó en Grootfontein, Namibia, y fue encontrado en 1920. Es de la clase ataxita (sin estructura), y pertenece al grupo IVB. Un fragmento de 9x9x3.2 pies y 60 toneladas se encuentra a unas 12 millas de Grootfontein, Namibia (Graham et al, 1985).

La espectroscopía Mössbauer (EM) del ⁵⁷Fe ha resultado ser una técnica de amplia aplicación en el estudio de meteoritos metálicos, principalmente en la identificación de las fases Fe-Ni ordenadas y desordenadas (Larsen et al, 1982), así como también, de los productos de corrosión originados por la acción de los factores climáticos en la superficie terrestre. De igual forma, la técnica de la microsonda electrónica aporta información valiosa sobre la composición química y la distribución de las fases presentes en el meteorito bajo estudio (especialmente la presencia de Ni), lo cual

permite complementar la información obtenida mediante la espectroscopía Mössbauer.

Presentamos en este trabajo los resultados de la caracterización de un fragmento del meteorito Hoba mediante EM y microsonda electrónica.

Procedimiento Experimental

Al comenzar el análisis se disponía de un trozo de color oscuro de aproximadamente 2 g del meteorito Hoba.

Para realizar el estudio por espectroscopía Mössbauer y microsonda electrónica, la muestra del meteorito fue sometida a un proceso de acondicionamiento previo, tomando en cuenta el hecho de que el fragmento ha estado sometido a las condiciones del clima y por tanto ha sufrido procesos de alteración en la superficie terrestre por meteorización, que se evidencian a simple vista por el aspecto oxidado que presenta.

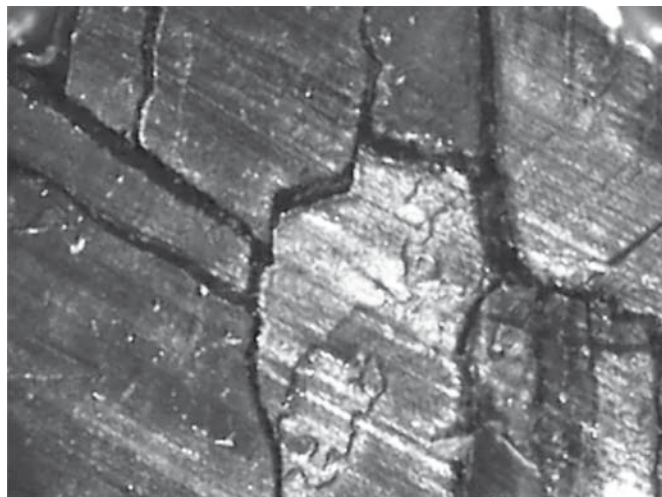
En la etapa inicial del trabajo los espectros Mössbauer fueron obtenidos para una muestra total del meteorito; esto es, se tomó un trozo de aproximadamente 200 mg y se trituro en un mortero de ágata hasta pulverizarlo. Con el polvo (unos 80 mg) se preparó el absorbente Mössbauer en araldita. Sin embargo, en vista de la dificultad para pulverizarlo, se cortó y pulió una lámina¹ muy delgada (Scorzelli, 1997) (con un espesor aproximado de 150 µm) del trozo original (Figura 1),

¹ Al cortar la lámina se pudo constatar la presencia de fracturas en el cuerpo del meteorito, que le dan al absorbente apariencia de mosaico.



con la finalidad de obtener el espectro Mössbauer del cuerpo del meteorito, reduciendo así la contribución de los óxidos presentes en su superficie.

Figura 1: Láminas de 150 μm de espesor del meteorito Hoba usadas como absorbente Mössbauer. Se pueden observar las fracturas.



Para el análisis en el Microscopio Electrónico, una de las láminas del meteorito fue embutida en una resina epóxica y pulida manualmente con lija de malla 2000 y polvo de alúmina.

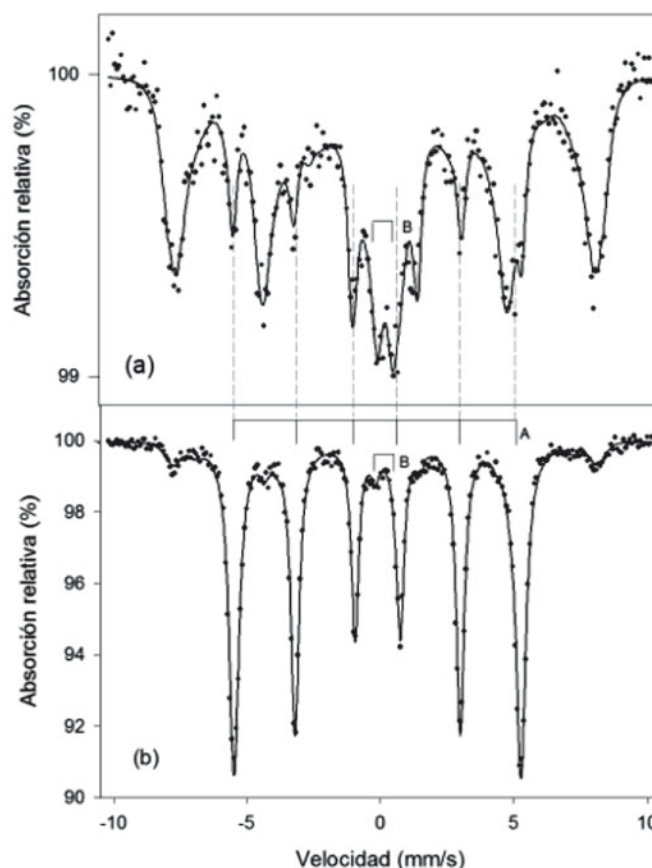
Los espectros Mössbauer fueron obtenidos con un espectrómetro de transmisión en modo triangular simétrico, perteneciente al Laboratorio de Magnetismo de la Facultad de Ciencias de la UCV, usando una fuente de $^{57}\text{Co}/\text{Rh}$. Este isótopo decae por captura electrónica al estado excitado con espín nuclear $I = 5/2$ del ^{57}Fe (Wertheim, 1968). La radiación gamma usada es la correspondiente a 14,4 keV. Los espectros se obtuvieron a temperatura ambiente, tanto para la muestra total como para las láminas. Los valores de los parámetros hiperfinos se obtuvieron mediante el ajuste de los espectros usando un programa iterativo por el método de mínimos cuadrados (Chen & Yang, 2007).

Para el estudio por microscopía electrónica, se usó el microscopio EPMA (Electronic Probe Micro Analyser, por sus siglas en inglés) marca Jeol Superprobe modelo JXA-8900R, perteneciente al Centro de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias de la UCV, con un voltaje acelerador de 20 kV. Se usó la técnica WDS (Wavelength Dispersive Spectrometer, por sus siglas en inglés) para el análisis de la composición química del meteorito.

Resultados y Discusión

En la figura 2 se presentan los espectros Mössbauer a temperatura ambiente para la muestra total en polvo (Figura 2a) y las láminas (Figura 2b). En la figura, la línea continua sobre los puntos experimentales es el mejor ajuste obtenido.

Figura 2: Espectros Mössbauer del meteorito Hoba. (a) Muestra total en polvo. (b) Láminas de 150 μm de espesor.



El espectro de la Figura 2a es una superposición de un doblete B y una amplia distribución de campos hiperfinos (CH), con un CH más probable de 490 kG, que corresponden a la coexistencia de las fases antiferro y ferromagnética débil de la hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) en pequeñas partículas superparamagnéticas (Vandererghe et al, 1989). Además, podemos apreciar la existencia de un subespectro magnético (de seis líneas) con un CH = 335 kG (posición de los picos indicada por las líneas verticales a trazos) que se puede atribuir a una aleación Fe-Ni con bajo contenido de Ni, compatible con la fase kamacita (Jonhson et al, 1963; Yassir & Tore, 1997) propia del meteorito. La presencia de la hematita se explica por oxidación de la superficie del meteorito en contacto con la atmósfera terrestre.

En la Figura 2b se representa el espectro Mössbauer de las láminas, donde se puede apreciar un subespectro en mayor proporción (87,52 %) debido a la fase Fe-Ni (subespectro A de seis líneas, observado también en el espectro de la Figura 4a). También se ven débiles contribuciones de la fase superparamagnética (doblete B y pequeña distribución de campos hiperfinos, atribuidos a la hematina en pequeñas partículas). La presencia de esta fase se explica por el hecho de que el trozo del meteorito presenta pequeñas fracturas en su interior hasta donde penetró el oxígeno para formar la hematita, y posiblemente otros óxidos e hidróxidos en pequeñas

proporciones no detectadas por esta técnica. Los valores de los parámetros hiperfinos obtenidos para el mejor ajuste del espectro son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros hiperfinos de las láminas del meteorito Hoba. DI: Desplazamiento Isomérico, GA: Medio ancho a media altura, QS: Desdoblamiento Cuadrupolar, CH: Campo hiperfino, pp: pequeñas partículas. Valores de DI respecto al α -Fe (hierro metálico).

DI (mm/s)	Ga (mm/s)	QS (mm/s)	CH (kG)	Fase
0.32(1)	0.19(2)	0.78(1)	-	α -Fe ₂ O ₃ en pp
0.02(2)	0.17(2)	1.70(1)	-	Fe-Ni
0.02(2)	0.18(1)	6.20(1)	-	Fe-Ni
0.04(1)	0.23(1)	10.78(2)	335(2)	Fe-Ni

Lo más resaltante del espectro de la Figura 2b es la presencia de la fase metálica Fe-Ni, que corresponde al cuerpo del meteorito. El espectro se ajustó con tres dobletes independientes para tomar en cuenta el efecto de saturación causado por el espesor del absorbente, calculándose el campo hiperfino de la separación de los picos más externos. De acuerdo a los parámetros hiperfinos encontrados, esta fase concuerda con la kamacita.

Con el propósito de complementar la información obtenida por la espectroscopía Mössbauer sobre las fases Fe-Ni presentes en el meteorito, se llevó a cabo un

microanálisis mediante la técnica WDS, como se indico anteriormente.

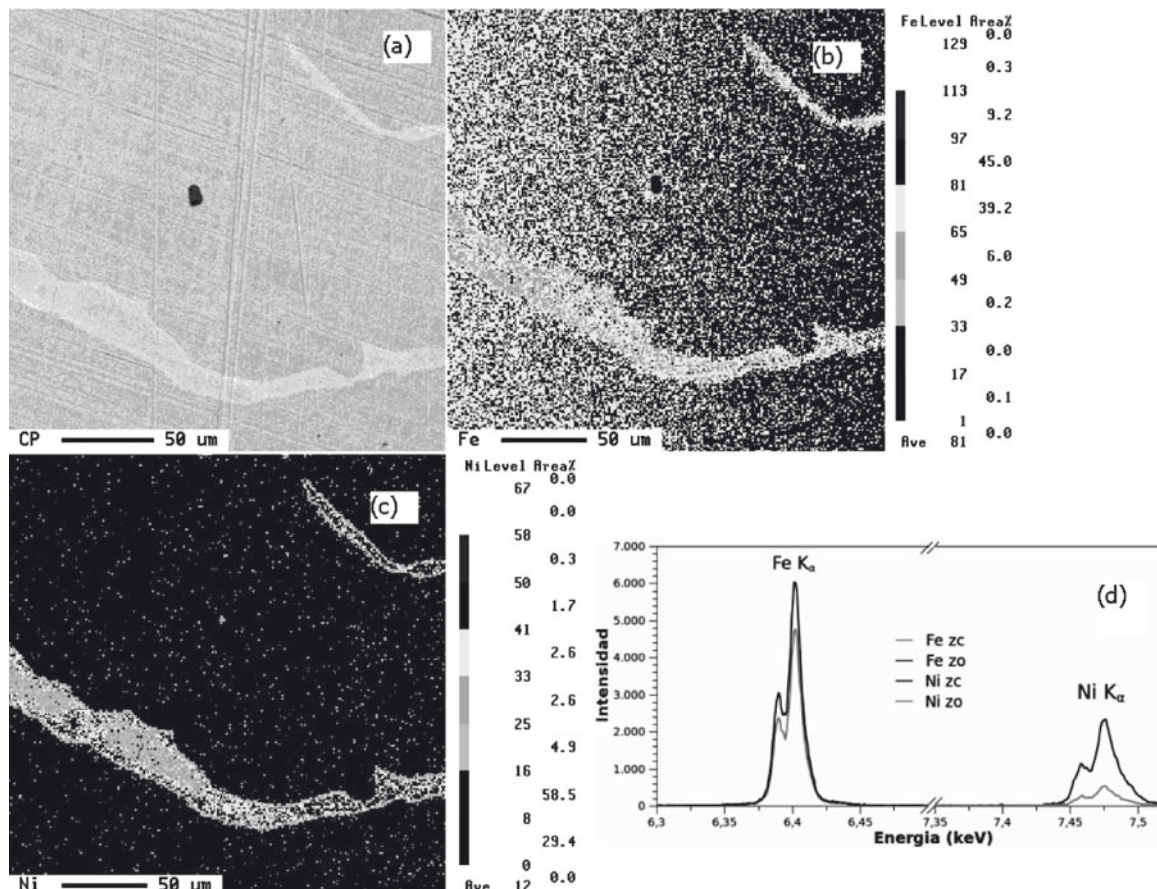
En la figura 3a se muestra la imagen de microscopía electrónica tomada a 430X de amplificación de la lámina pulida. Aquí podemos observar dos zonas bien diferenciadas, una oscura y otra clara. Cada zona fue explorada por la microsonda electrónica.

En las Figuras 3b y 3c se representan los mapas de rayos-X, con relación a la concentración de Fe y Ni, respectivamente. Además, en la Figura 3d puede verse el espectro WDS de rayos-X para cada zona.

El análisis cualitativo de los espectros WDS indica que la zona oscura contiene mayor proporción de Fe que la zona clara, y la zona clara contiene mayor proporción de Ni que la zona oscura. Esto se representa igualmente en los mapas de rayos-X para cada zona.

De los espectros WDS se obtienen las siguientes concentraciones de Fe y Ni: zona oscura (92,5 % en peso de Fe y 7,5 % en peso de Ni) y zona clara (68,3 % en peso de Fe y 31,7 % en peso de Ni). Esto indica que la zona oscura contiene a una fase Fe-Ni pobre en Ni, compatible con la fase kamacita, tal como lo indica la espectroscopía Mössbauer. Mientras que la zona clara contiene una fase Fe-Ni rica en Ni, compatible con la fase taenita (Heie & Wlotzka, 1995). Estos resultados están totalmente de acuerdo con lo esperado para un meteorito metálico como el Hoba.

Figura 3: (a) Imagen de la lámina del meteorito Hoba vista al microscopio electrónico a 430X. (b) y (c) Mapas de rayos-X. (d) Espectros WDS.





Conclusiones

Se han presentado los resultados de un estudio preliminar por espectroscopía Mössbauer y microsonda electrónica de un fragmento del meteorito Hoba (Grootfontein, Namibia).

Los resultados de espectroscopía Mössbauer indican la presencia en la muestra analizada de la fase hematina en pequeñas partículas paramagnéticas, y la fase Fe-Ni kamacita propia del meteorito.

El acondicionamiento de las muestras es un factor que juega un papel fundamental al emprender un estudio por espectroscopía Mössbauer de meteoritos. Los óxidos de hierro presentes en las muestras generalmente enmascaran la información útil sobre el meteorito.

Los resultados de la técnica WDS revelan la presencia de las fases kamacita y taenita en el meteorito Hoba.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Lic. Luís Alberto Errico, del Centro de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias de la UCV, por su valioso trabajo en el análisis por microsonda electrónica.

Referencias

- Chen, Yi-L. & Yang, De-P. (2007). Mössbauer Effect in Lattice Dynamics, Wiley-VCH Verlag GmVh & Co. KgaA, Weinheim. pp 120-111.
- Graham, A. L., Bevan, W. R. and Hutchison, R. (1985) Catalogue of Meteorites, British Museum (Natural History) 4a ed.
- Heide, F. & Wlotzka F. (1995). Meteorites: Messengers from Space. Springer-Verlag. New York.
- Jonhson, C. E., Ridout, N. S. and Cranshaw, T. E. (1963). The Mössbauer Effect in Iron Alloys. Proc. Phys. Soc. (81): 1079-1090.
- L. Larsen, H. Roy-Pulsen, N. O. Roy-Pulsen, L. Vistisen and J. M. Knudsen, Phys. Rev. Lett. 48, 1054 (1982).
- Mason, B. (1962). Meteorites. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Scorzelli, R.B. (1997). Phase Stability of Fe-Ni Alloys from Meteorites in the Invar Region. Hyperfine Interactions (110): 143.
- Vandererghe, R. E., DE Grave, E., Landuydt, C. and Bowen, L. H. (1989). Some aspects concerning the characterization of iron oxides and hydroxides in solis clays. ICAME 89. Budapest, Hungary.
- Wertheim, G. K. (1968). Mössbauer Effect: Principles and Applicatons. Murray Hill, New Yersey.
- Yassir, A. and Tore E. (1997). Mösbauer spectroscopy, x-ray diffraction and electron microprobe analisys of the New Halfa Meteorite. Meteoritics & Planatary Science. (32): 373-375.