

## ESTUDIO DE RAYOS-X Y MICROSCÓPICO AL METEORITO CARANCAS, CAÍDO EL 15 DE SEPTIEMBRE DE 2007

Pedro Miranda<sup>1</sup>, Mario Blanco<sup>2</sup>, Hugo Alarcón<sup>2</sup>, Elena Gorinova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Planetario Max Schreier, Carrera de Física, FCPN—UMSA

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medioambiente (IGEMA),  
Carrera de Geología, UMSA

### RESUMEN

Se realiza el estudio de caracterización elemental de pequeños fragmentos de un meteorito caído el día 15 de septiembre de 2007 a horas 16:44:20 UTC en la cercanía de la localidad de Huanocollo, Prov. Carancas del territorio peruano, en las coordenadas  $16^{\circ}39'52'' S$  y  $69^{\circ}02'32'' W$ , y a una altura  $3825 \text{ m.snm}$ . Para este fin fueron realizados diversos análisis de difracción y fluorescencia de RX (Rayos X), así como análisis minerográfico y petrográfico. Los resultados permiten concluir que la muestra analizada corresponde a un meteorito de tipo condrito.

*Descriptores: meteoritos — ciencia de materiales — técnicas de caracterización*

### ABSTRACT

A study was carried out to obtain a characterization of the mineralogical and petrographic properties of small fragments from a fallen meteorite found on the 15th September, 2007 at 4:44:20 PM UTC close to the locality of Huanocollo, within the Carancas Province of Perú at the coordinates  $16^{\circ}39'52'' S$  and  $69^{\circ}02'32'' W$ , and an altitude of  $3825 \text{ m.asl}$ . The results obtained from the analysis of the diffraction and fluorescence of X-rays and other analyses show that the sample corresponds to a chondrite meteorite.

*Key words: meteorites — materials science — characterization techniques*

### 1. INTRODUCCIÓN

El día 15 de septiembre del 2007 cayó un meteorito en una zona despoblada cerca la localidad de Desaguadero en la provincia Carancas del Perú. En la zona del impacto se formó un cráter de  $15 \text{ m}$  de diámetro y  $5 \text{ m}$  de profundidad. Alrededor del cráter se encontraron infinidad de fragmentos del meteorito, desde partículas del tamaño del polvo hasta fragmentos mayores como un guijarro. La importancia de conocer las características químicas, mineralógicas y petrográficas de este cuerpo extraterrestre motivó al Planetario Max Schreier de la Carrera de Física y al Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente, ambos dependientes de la Universidad Mayor de San Andrés, a realizar un estudio de fragmentos (aprox.  $10 \text{ g}$ ) de materiales recogidos de la zona del impacto,

utilizando métodos de DRX (difracción de RX) y FRX (fluorescencia de RX), así como un estudio petrográfico y minerográfico en secciones delgadas y pulidas.

### 2. ANÁLISIS

Los resultados obtenidos de estos estudios se incluyen en las subsecciones siguientes. En la primera se describe el estudio de DRX y FRX, en tanto que en la segunda se presenta el estudio petrográfico y minerográfico.

La interpretación de los registros obtenidos por FRX muestra contenido importante en elementos *Fe-Ni-Co*, característica destacable en meteoritos tipo “siderito”, además de otros elementos cuya relación es muy típica con rocas ultrabásicas/básicas, notable en meteoritos tipo “condrito”.

Los análisis por DRX demuestra la presencia de minerales ferromagnesianos y pequeñas cantidades de cuarzo, lo cual es coherente con el análisis químico.

Respecto a los análisis petrográfico y mine-ragráfico, el estudio ha permitido definir la presencia de muchos minerales ferromagnesianos, confirmando también por este medio el carácter de meteorito de la muestra.

No se realizó el análisis químico, a falta de una microsonda para caracterizar el tipo de aleación de *Ni* y *Fe* (*Electrón Prove Microanalysis*, EPMA). Tampoco los de análisis de isótopos  $^{119}\text{Xe}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{26}\text{Mg}$  ni  $^{129}\text{I}$ ; con éstos se observaría el inicio de condensación de sustancias sólidas en el sistema solar.

### 2.1. INFORME DEL LABORATORIO DE RAYOS X (FRX - DRX)

Solicitante:	Planetario Max Schreier (Ing. Pedro Miranda)
Tipo de análisis:	FRX-DRX
Número de muestras:	Una
Tipo de muestra:	Fragmentos de Meteorito
Operador:	Mario Blanco Cazas
Fecha:	La Paz, sept. 20 de 2007

#### 2.1.1. Descripción macroscópica de la muestra

La muestra analizada ha sido identificada como Meteorito Huanocollo. La muestra se presenta en estado de polvo y fragmentos pequeños. De modo general, el color es gris verdoso y de aspecto granular. Algunos fragmentos, que alcanzan un tamaño máximo de 0,5 cm, son de aspecto totalmente metálico. La muestra tiene una susceptibilidad magnética muy alta.

#### 2.1.2. Preparación de la muestra

Se ha intentado moler lo más posible esta muestra a objeto de homogeneizar el tamaño de grano. Sin embargo, la presencia de fragmentos metálicos en tamaños mayores a 0,2 ó 0,3 mm lo impide, por ello, la muestra para el análisis por FRX fue preparada directamente con este material entregado. Por su parte, el material usado para el análisis de DRX fue previamente tamizado en malla 60 antes de moler la muestra.

#### 2.1.3. Condiciones de operación de los equipos

El equipo de fluorescencia (FRX) es marca Rigaku con tubo de cromo, generándose radiación X primaria a 50 kV y 25 mA. La separación de longitudes de onda para determinar la presencia de elementos pesados se realizó con un cristal de *LiF* en un registro corrido de 10° a 65° bajo un sistema computarizado; en tanto que los elementos ligeros, incluyendo al *Ti* y *Ca*, se los registró de forma manual con cristales *ADP*, *ADDT.Ge* y *TAP* en rangos puntuales característicos de cada uno de los elementos de interés y con 30 mA. En todos los casos se utiliza una escala máxima en el registrador de 4000 cuentas por segundo con velocidad de barrido del goniómetro de 4°/min y avance del papel de 20 mm/min.

El equipo de Difracción (DRX) es de marca Rigaku Geigerflex que utiliza un tubo generador de Rayos X de *Cu* con filtro de *Ni*, dando radiación *K* alfa del *Cu* con longitud de onda de 1,54178 Å. Las condiciones de operación del equipo son las siguientes: Radiación generada a 30 kV y 10 mA, velocidad de barrido del goniómetro de 2°/min, escala máxima de detección en el registrador de 2000 cuentas por minuto, *SLITS* 1 – 0,15 mm – 1, rango de registro de 2° hasta 60° con intervalo de tiempo de registro constante e igual a 2 s.

#### 2.1.4. Resultados

El gráfico de la figura 1 muestra los resultados de la interpretación del espectro de Difracción de Rayos X, en la que se ha determinado la presencia de compuestos, según se describe en la parte inferior del gráfico. Los espectros de fluorescencia mostrados en las figuras 2 y 3 presentan a los elementos identificados en la muestra analizada. En principio, el sector corrido entre 10° y 65° obtenido con dispersión de cristal *LiF* y el gráfico anexo presentan los espectros de los elementos ligeros, incluyendo *Ti* y *Ca*, para estas mismas muestras.

Sobre la base de estos gráficos se ha confeccionado una tabla general de elementos presentes en la muestra ordenados de acuerdo a su abundancia relativa (tabla 1). En la valoración estimativa de los contenidos se ha tomado en cuenta la intensidad de los picos registrados y con ello se han agrupado los elementos encontrados en categorías denominadas MAYORITARIOS cuando se estima que están en cantidades mayores al 2%; MINORITARIOS si se encuentran entre 0,1 y 2%; y TRAZAS si su presencia está en proporciones muy reducidas con canti-

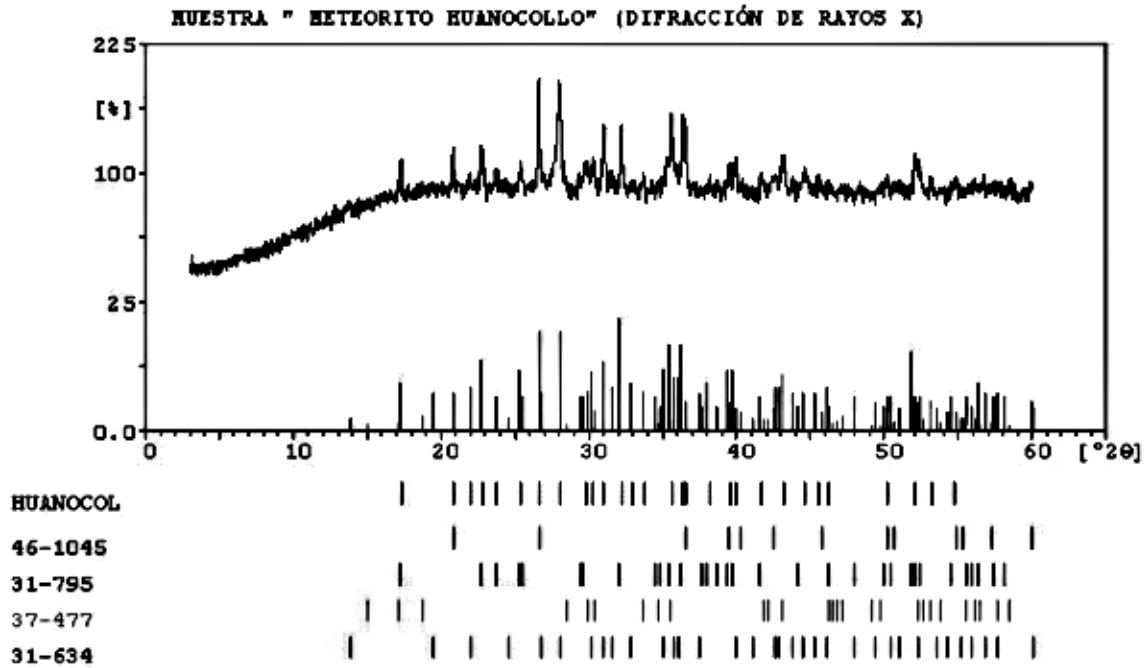


Figura 1. DRX - Difracción de Rayos X.

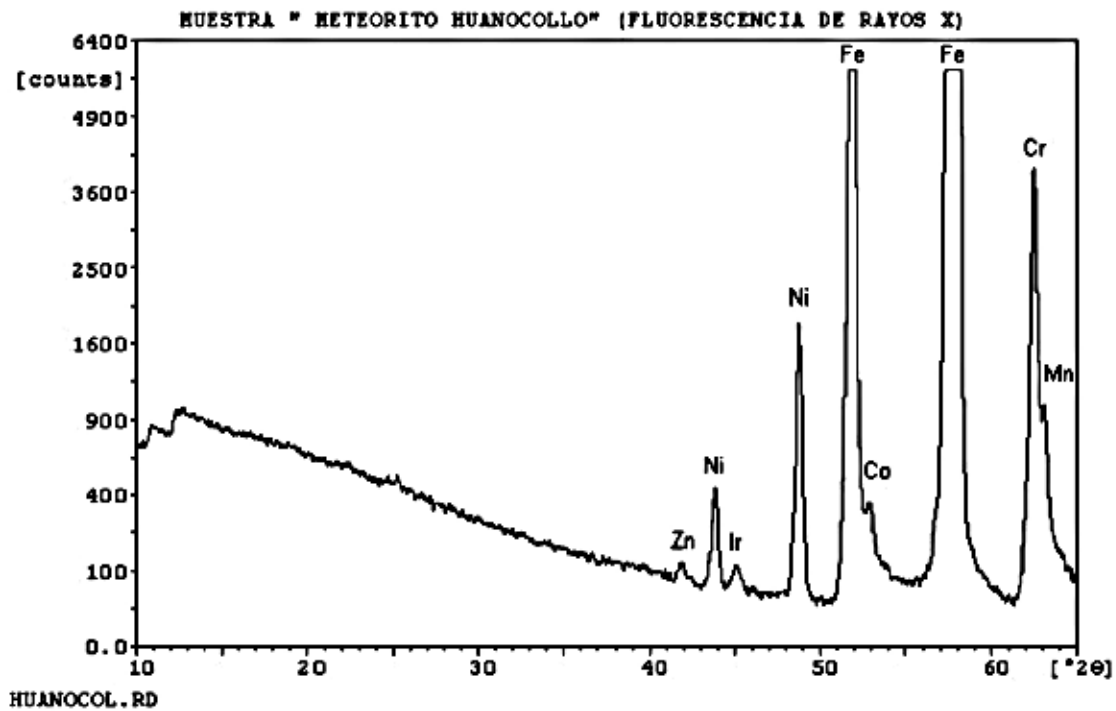


Figura 2. FRX - Fluorescencia de Rayos X.

dades inferiores al 0,1 %. Los resultados correspondientes se muestran en la tabla 2.

#### 2.1.5. Conclusiones del estudio FRX - DRX

Por los análisis de FRX y DRX en la muestra identificada como Meteorito Huanocollo, se conclu-

ye lo siguiente<sup>1</sup>:

1.- La composición de elementos de la muestra analizada tiene relaciones típicas que corresponden a un meteorito de un tipo intermedio entre los **metálicos** (conocidos como **SIDERITOS**) y los **rocosos** (a veces llamados **CONDRIOTOS**).

<sup>1</sup>Mario Blanco Cazas, INVESTIGADOR del IGEMA.

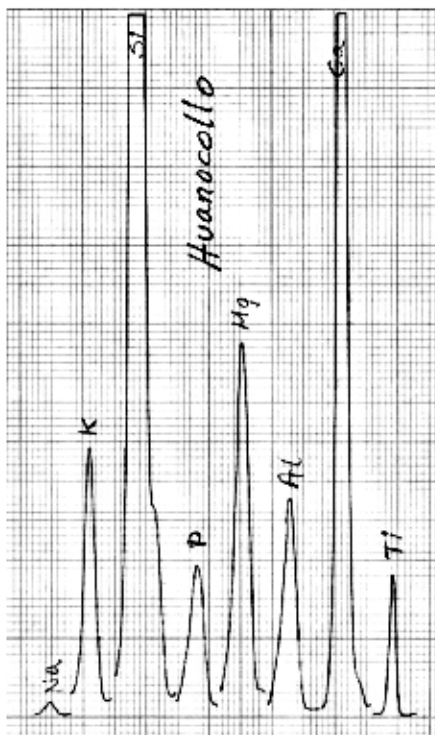


Figura 3. Registro de elementos ligeros, incluyendo Ti y Ca, obtenidos manualmente con dispersión por diferentes cristales.

2.- Una de las caracterizaciones de composición elemental de los meteoritos del tipo **SIDERITOS** es la presencia de *Fe*, *Ni*, *Co*, y trazas de *Ir*, elementos que han sido identificados en las muestras analizadas.

3.- Las relaciones cuantitativas entre elementos denominados **formadores de Rocas** (entre ellos, *Si*, *Al*, *K*, *Ca*, *Mg*, *P*, etc.) que se observan en la muestra analizada, según la experiencia del Laboratorio de Rayos X del IGEMA, no es compatible con rocas que normalmente se encuentran en la superficie de la tierra. Estas relaciones podrían eventualmente corresponder a materiales que se encontraran mucho más al interior de la tierra, es decir, podrían esperarse en materiales del manto. Por tanto, es posible suponer que la muestra analizada, contiene minerales de tipo **ULTRABÁSICO** o **BÁSICO**.

4.- Tres de los cuatro minerales identificados corresponden a compuestos de *Fe*. Ésto es de esperar si se considera que la composición elemental mayoritaria del meteorito es principalmente de hierro. Sin embargo, no es posible determinar si los minerales detectados fueron formados antes o después del impacto del meteorito. La presencia de **CUARZO** entre los minerales identificados hace pensar que ésta se debe a una **CONTAMINACIÓN**

TABLA 1

Minerales identificados con DRX. Los números entre paréntesis corresponden a los registros o *Fichas de Registro APD* de minerales. Son utilizados como *estándares* de comparación en el proceso de interpretación.

CUARZO	$SiO_2$ (46-1005)
FOSTERITA FERRITA	$(Mg,Fe)_2 SiO_3$ (31-795)
TROILITA	2H ( <i>FeS</i> ) (37-477)
FERROSILITA	$(Fe,Mg) SiO_3$ (31-634)

TABLA 2

Elementos detectados con FRX y estimación de contenidos.

Nota: El elemento *Cr*, también registrado, corresponde a radiaciones del tubo de Rayos X, por lo que no es posible determinar su posible presencia en la muestra.

MAYORITARIOS (> 2%)	<i>Fe</i> , <i>Si</i> , <i>Ca</i> , <i>Ni</i> , <i>Mg</i>
MINORITARIOS (0,1 – 2%)	<i>K</i> , <i>Al</i> , <i>Mn</i> , <i>P</i> , <i>Ti</i> , <i>Co</i>
TRAZAS (< 0,1%)	<i>Ir</i> , <i>Zn</i> , <i>Na</i>

de la muestra en el momento del impacto.

5.- En resumen, la composición elemental y mineralógica de la muestra analizada sugiere que el meteorito era un cuerpo formado por un gran núcleo de *Fe-Ni-Co*, englobado en un material rocoso de composición muy básica.

## 2.2. ANÁLISIS PETROGRÁFICO Y MINERAGRÁFICO

*Instituto de Investigaciones Geológicas y del Medio Ambiente, UMSA*

Solicitante: Planetario Max Schreier  
(Ing. Pedro Miranda)

Número de muestras: 1

Estudio realizado por: Ing. Hugo Alarcón B.<sup>†</sup>  
Ing. Elena Gorinova<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Docente titular de Yacimientos Minerales Metálicos (UMSA).

<sup>‡</sup>Docente titular de Mineralogía (UMSA).

### 2.2.1. Análisis minerográfico (estudio microscópico)

La sección pulida de un fragmento del meteorito a sido observada mediante luz polarizada con el microscopio de reflexión, determinándose los minerales o metales mostrados en la tabla 3.

TABLA 3

Componentes mineralógicos y porcentajes aproximados.

TAENITA (aleación de Fe con Ni)	25 - 30 %
Mackiwanita-vallerita (Fe,Ni,Cr)9S8*	8 - 10 %
Fase no identificada	< 1 %
Roca	< 1 %

\* Esta fase puede también ser denominada como TROILITA y/o PIRROTINA CÓSMICA, dependiendo de sus elementos químicos y naturaleza con relación a su origen.

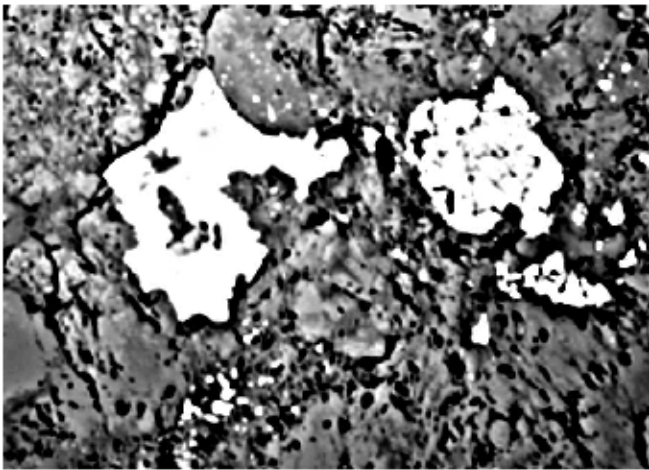


Figura 4. Fragmentos de taenita y troilita incluidos en la roca ultrabásica. Aumento: 100 X.

### 2.2.2. Descripción general de la muestra

La muestra esta constituida básicamente por una matriz de roca, la cual incluye fragmentos de taenita y troilita, de dimensiones milimétricas la primera y dimensiones menores a 0,5 mm la segunda, existiendo además partículas diseminadas en la roca con dimensiones muy variadas en el rango de 50 a 200  $\mu$  y menores a los 20  $\mu$  (Fig. 4).

### 2.2.3. Taenita

Se presenta en partículas anhedrales con brillo metálico de color blanco. Generalmente presenta inclusiones de silicatos y, en cantidades menores, de troilita. La taenita parece estar parcialmente reemplazada por la roca y de esta manera los cristales presentan formas irregulares (Fig. 5).

TABLA 4

Composición mineralógica de la muestra.

Ortopiroxeno	70 - 73 %
Olivino	5 - 6 %
Condrita	2 - 3 %
Fotosilicato	0.5 %
Minerales metálicos	8 - 10 %
Óxidos e hidróxidos de Fe	3 - 4 %
Vidrio	5 - 7 %

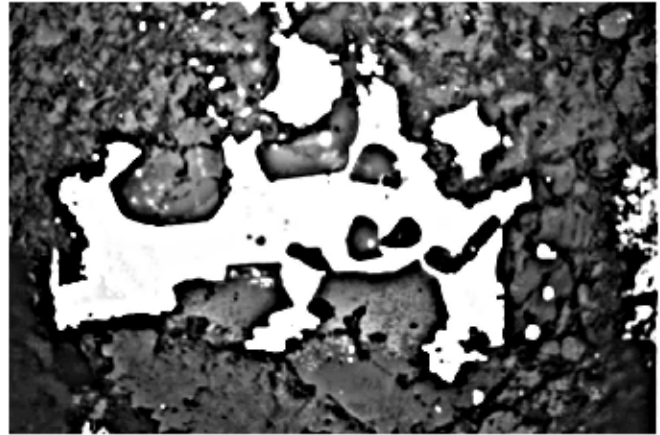


Figura 5. Cristales de taenita con forma irregular, resultado del reemplazamiento parcial de la roca. Aumento: 200 X.

### 2.2.4. Troilita

La troilita corresponde a otra fase de mineral en la muestra, es de color rosado y fuertemente anisotrópico, muy semejante a la pirrotina. La bibliografía caracteriza este mineral como Mackiwanita-Vallerita, una serie isomorfa de sulfuro de hierro con hierro, níquel, cromo y cobalto, pero puede ser denominado troilita cuando tiene un origen cósmico o también pirrotina cósmica. La troilita aparece como inclusiones en la roca y también como inclusiones en la taenita (Fig. 6).

### 2.2.5. Fase no identificada

Una tercera fase no identificada aparece como inclusiones en la taenita. Esta fase es de color gris claro, isotrópica y podría tratarse de magnetita (Fig. 7).

### 2.2.6. Roca

La roca se caracteriza por presentar cristales de silicatos y pasta muy fina, y ha sido caracterizada como una peridotita en el análisis petrográfico.

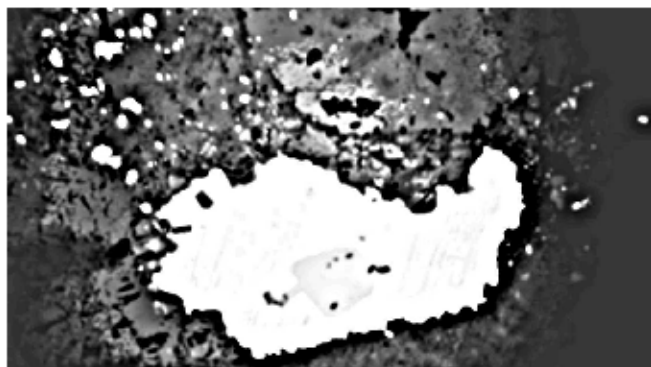


Figura 6. Inclusión de troilita en taenita, indicando un solo origen de ambas fases. Ambas incluidas en la roca. Aumento: 200 X.

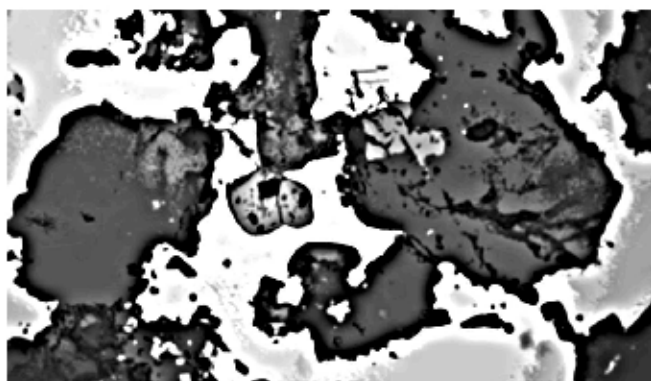


Figura 7. Fase no identificada que aparece como inclusiones en la taenita y silicatos. Aumento: 200 X.

#### 2.2.7. Conclusiones de los análisis petrográfico y mineralográfico

Los estudios tanto de petrografía como mineralografía en la muestra podrían indicar que la misma corresponde a un meteorito del tipo **CONDRIITO**. La muestra se caracteriza por la predominancia de fase lítica sobre la fase metálica (condrita pallasita o siderolita), con textura heteroacumulada composición mineralógica mostrada en la tabla 4.

El ortopiroxeno, probablemente representado por la variedad bronsita, se encuentra con formas anhedrales, a veces de aspecto fibroso. Muestra exfoliación perfecta, numerosas fracturas y textura de *printfingers*. Los tamaños son heterogéneos, variando entre partículas finas de hasta de  $450\text{ m}\mu$  de largo (Fig. 8).

El olivino con formas anhedrales subredondeados, rellena esporádicamente los espacios entregranulares de ortopiroxenos y generalmente aparece como cúmulos en la roca. Los tamaños de olivinos son homogéneos entre  $70$  y  $100\text{ m}\mu$  de diámetro. Se observan leves rasgos de alteración, probablemente

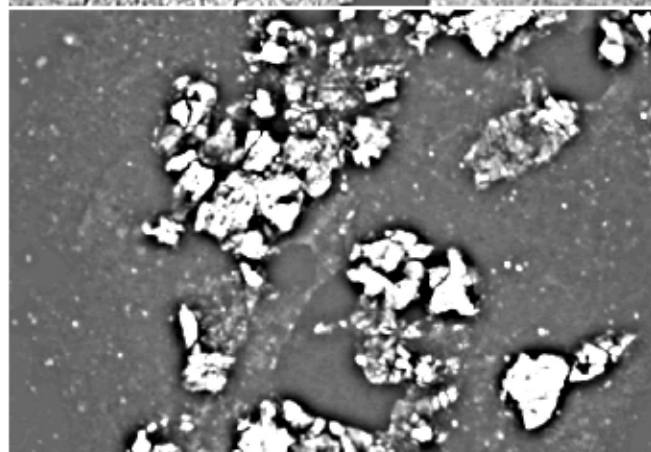
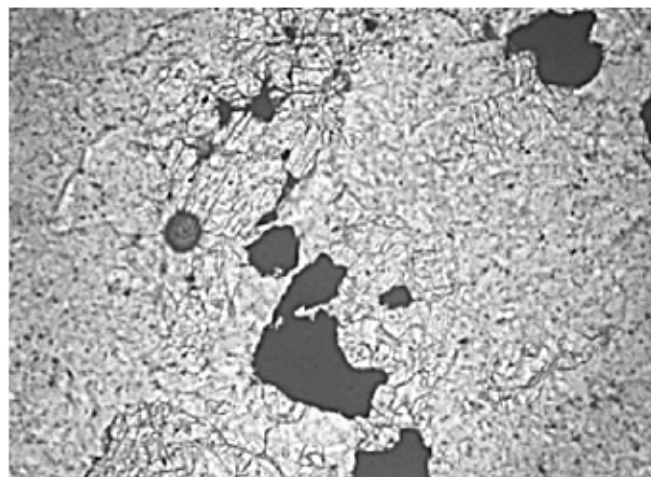


Figura 8. Ortopiroxeno (variedad bronsita) mostrando exfoliación perfecta. Foto superior: nícoles paralelos; foto inferior: nícoles cruzados. Aumento: 400 X.

se trata de idingstita. (Fig. 9).

En cantidad muy reducida aparece el fitosilicato (mica máfica) de aspecto escamoso finísimo, cuya exacta identificación requiere el estudio bajo la microsonda.

Es evidente la presencia de condritas con formas esferolíticas, rellenas por una sustancia finísima de aspecto escamoso-fibroso distribuida en forma radial (Fig. 10).

La fase metálica aparece como inclusiones y disseminaciones en la roca.

Se observa la aparición de vidrio, formado por impacto de meteorito.

#### 2.2.8. Identificación de la muestra

Los estudios realizados permiten concluir que la muestra corresponde a un meteorito-condrito de tipo pallasita (siderolita) con fase predominantemente lítica, representada por peridotita (variedad ortopiroxenita olivínica).

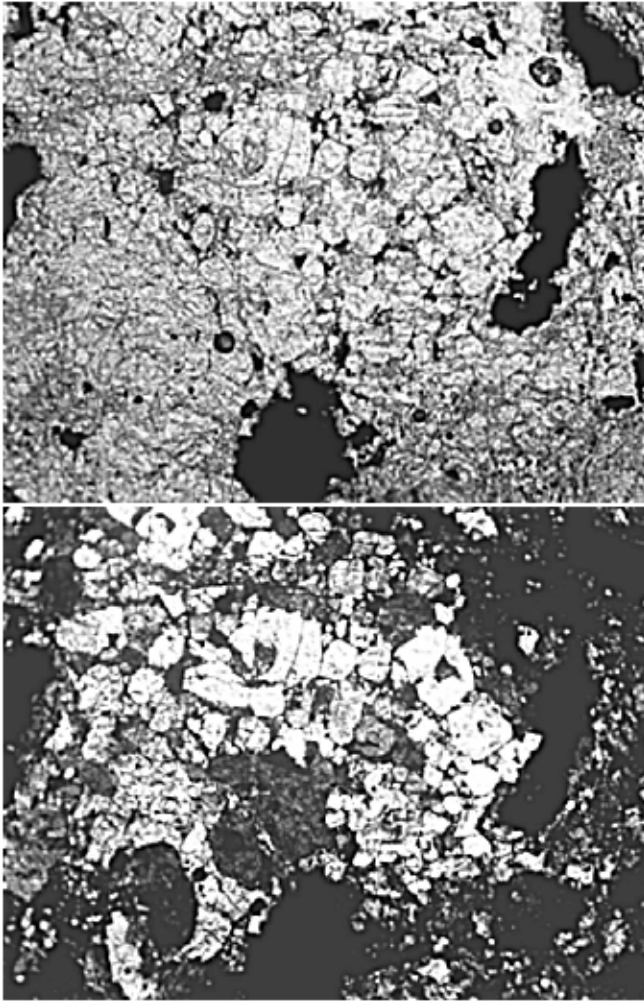


Figura 9. Cúmulos de olivino en la roca peridotítica. Foto superior: nícoles paralelos; foto inferior: nícoles cruzados. Aumento: 200 X.

### 3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que las muestras analizadas corresponden a un cuerpo extraterrestre, conocido como meteorito de composición "siderito-condrito".

Los componentes identificados, fosferita férrica, troilita, ferrosilita y *Fe-Ni-Co* muestran las diferencias con los que existen en la superficie de la tierra y se identifican como materiales Altamente Básicos.

De los análisis mineragráficos se concluye que la muestra contiene variedades mineralógicas exóticas, como taenita (aleación *Fe-Ni*), troilita, mackiwanita y otras, lo cual permite caracterizar

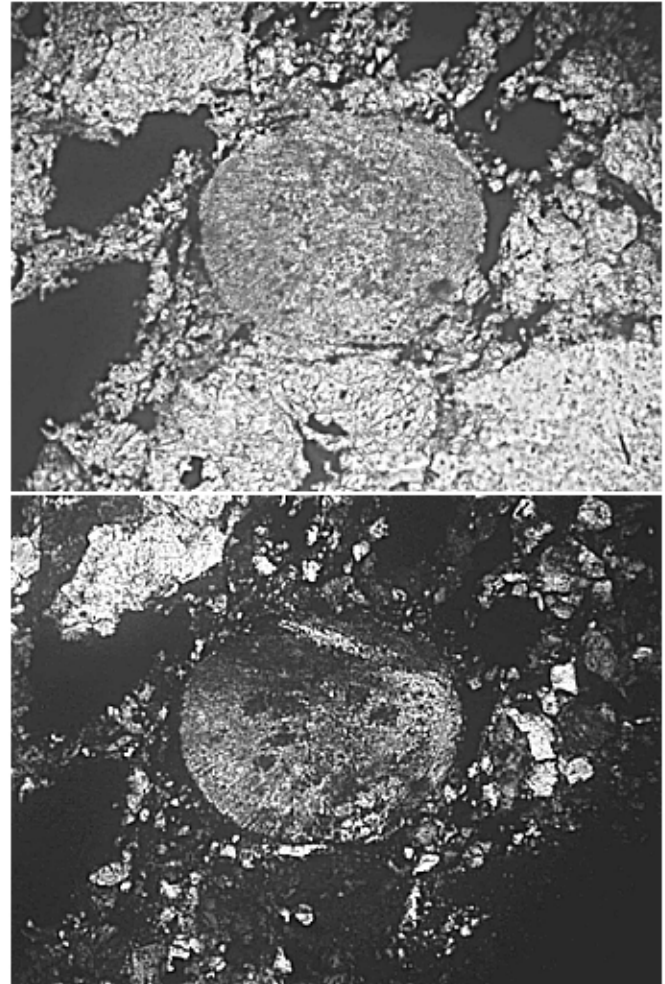


Figura 10. Conditos con formas esféricas que aparecen en la roca. Foto superior: nícoles paralelos; foto inferior: nícoles cruzados. Aumento: 400 X.

al meteorito estudiado como un Meteorito Condrítico de tipo pallasita (siderolita) con una fase predominante lítica, representada por peridotita.

### REFERENCIAS

- [1] Schumman W., *Mineralien, Edelsteine, Gesteine, Erze*, BLV Verlagsgesellschaft, Munchen 'Bern Wien (1986).
- [2] Ulyanov A. A., *Meteoritics, Meteorites and Constitutive Minerals*, Sorovsky Obrasovabilniy Zhurnal, tomo 7, N2, [www.issep.rssi.ru](http://www.issep.rssi.ru), (2001).
- [3] Smith D. G. (editor), *The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*, pag. 55-56 (1981).
- [4] *Expert Phillips Pan Analytical* (para interpretación de difractogramas) (2007).