

Análisis granulométrico", *Rev. Minería y Geología*, no. 3, 1984.

19. ROJAS, L.; A. CARBALLO y E. MATOS: "Valoración mineralógica-económica del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa del yacimiento Moa", *Rev. Minería y Geología*, vol. 10, no.2, 1993.

20. SAM POLANCO, C.: *Informe sobre la caracterización del mineral rechazado en la planta de pulpa*, Empresa "Pedro Soto Alba", Moa, 1991.

21. WEST, D.: "Homogenización del mineral limonítico del norte oriental, así como la influencia de este en la sedimentación de la pulpa limonítica de la empresa Pedro Soto Alba", *Trabajo de diploma*, ISMM, Moa, 1992.

# LAS PARAGENESIS MINERALES DEL YACIMIENTO POTOSI Y SU SUCESION GENETICA

Ing. José Nicolás Muñoz Gómez

Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

*¡Todo lo que usted necesita saber sobre protección y uso racional de los recursos!*

En el Instituto Superior Minero Metalúrgico funciona el Centro de Estudios de Protección y Uso Racional de los Recursos Naturales, el cual le ofrece:

- Cursos de post-grado
- Entrenamientos
- Consultorías
- Maestrías
- Evaluación del terreno
- Ensayos de laboratorio
- Asistencia técnica
- Proyectos de Ingeniería Ambiental

*Visítenos y disfrutará del cálido sol caribeño*

## RESUMEN

Se analizan las paragénesis localizadas en el yacimiento de menas cromíferas Potosí, asociado al complejo ofiolítico cerca de Moa, Holguín, Cuba. A través de la microsonda electrónica y por microscopía de menas se identificó la composición mineralógica de los diferentes minerales metálicos en las espinelas cromíferas, entre ellos: rutilo, laurita-erlichmanita, pirrotina, calcopirita, pentlandita y heazlewoodita. En sentido general, al analizar la sucesión de segregación de los minerales se identificaron cuatro paragénesis. Finalmente se analiza la formación del yacimiento, a través de un esquema teórico de la sucesión genética de sus paragénesis.

Las paragénesis minerales del yacimiento Potosí se analizaron y establecieron con profundidad, incluyendo una rigurosa identificación analítica de los minerales componentes de las mismas (J. Muñoz, M. Campos; 1992). Como resultado del análisis textural-estructural de las menas en conjugación con la distribución espacial de los minerales metálicos, se distinguen las paragénesis minerales siguientes:

### PARAGENESIS A

Cromita - (I)  
Rutilo - (I) (cristales idiomórficos aciculares) (descomposición de soluciones sólidas)  
Rutilo - (II) (cristales xenomórficos en microgrietas)

### PARAGENESIS B

B-1 Cromita-magnocromita (cromita - I)  
Laurita-erlichmanita (independiente en las espinelas cromíferas)  
B-2 Alumo-cromopicotita (cromita - I)  
Pentlandita (I)  
Pirrotina  
Calcopirita  
Pirita  
Laurita-erlichmanita

Todos los sulfuros presentes se localizan en los sistemas de grietas y microgrietas en las espinelas cromíferas, con las excepciones señaladas.

### PARAGENESIS C

Cromita (I)  
Pentlandita (I)  
Laurita-erlichmanita  
Heazlewoodita  
Mackinawita

## ABSTRACT

This paper includes the main paragenesis located in the Potosí chromium ore deposit associated with the ophiolite complex, near Moa, Holguín province, Cuba. Electron microprobe analyses and ore microscopy have revealed a mineralogical composition of different metallic minerals in the chromites spinels, such as: rutile, laurite-erlichmanite, pyrrhotite, chalcopyrite, pentlandite and heazlewoodite. In broad terms, the sequence mineral depositions indicate the existence of four paragenesis. Finally, the formation of Potosí ore deposit has been analysed.

### PARAGENESIS D

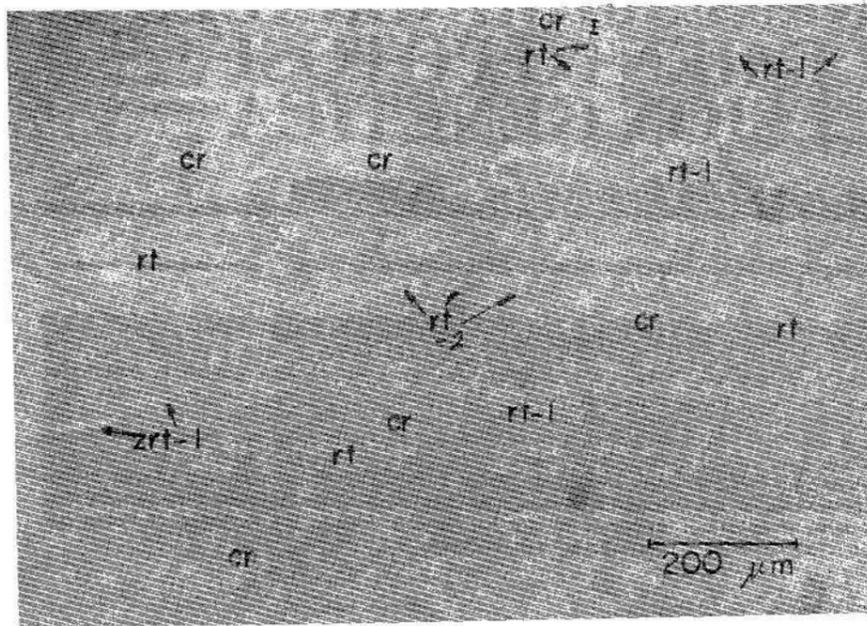
Cromita (II)  
Pentlandita (II)  
Plagioclasas básicas  
Clinopiroxenos  
Uvarovita  
Minerales del grupo de la serpiente

En el trabajo se relaciona cada paragénesis con los diferentes estadios de mineralización, éstas se ubican en el esquema de consecutividad, especificándose las dos fases de mineralización magmática y durante el proceso de serpentinización del complejo ultramáfico. Basándose en toda la información obtenida se elaboró el esquema teórico de formación de las menas cromíferas del yacimiento Potosí.

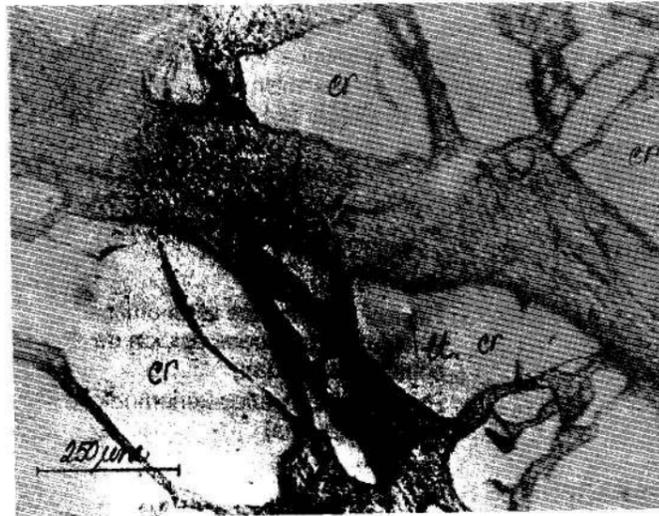
## ANALISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS PARAGENESIS MINERALES

### Paragénesis A

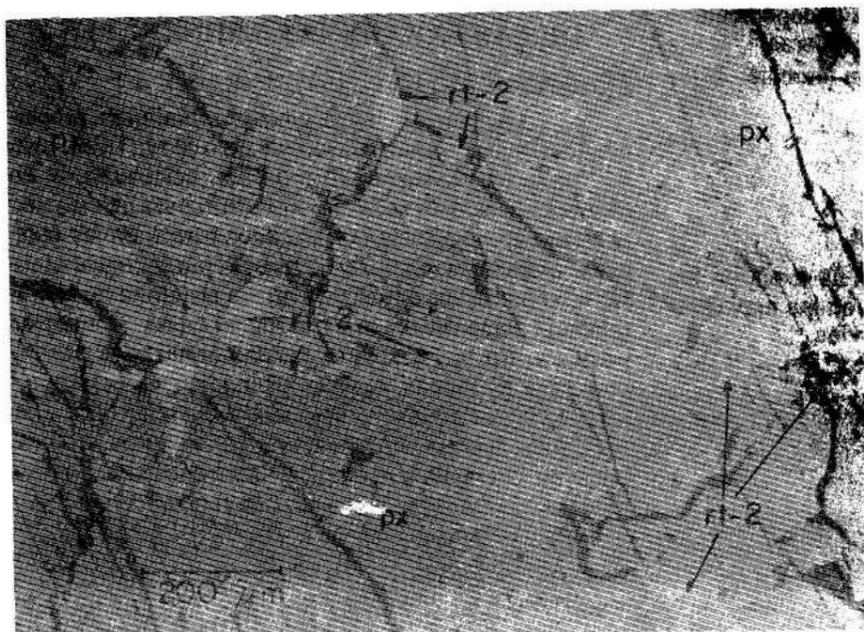
La integran las espinelas cromíferas propiamente dichas, con las inclusiones de rutilo-I ( $\text{TiO}_2$ ), bien en forma de cristales idiomórficos aciculares o en descomposición de solución sólida. En este último caso el rutilo-I se manifiesta por finísimos trazos en las espinelas cromíferas. Se incluye en esta paragénesis el rutilo-II, xenomórfico, y ubicado en los sistemas de microgrietas, temporalmente constituye una formación posterior. En las secciones pulidas analizadas por microscopía de menas, el rutilo idiomórfico se localiza sin alineación preferente, exceptuando algunas microgrietas donde al estar éstas rellenas con sulfuros, los cristales se disponen paralelos a las direcciones de las mismas, no constituyendo esto una regularidad.



**FOTO A-1.** Microfotografía. Muestra: PS-6c. Cristales de rutilo (rt-1) en espinelas cromíferas (cr). Rutilo-II (rt-2) en los sistemas de microgrietas de las cromitas. (JENAPOL-U.200x. En aire. Luz normal).



**FOTO A-2.** Microfotografía. Muestra: PS-11a. Cristal de laurita-erlichmanita (lt) en espinelas cromíferas (cr). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).



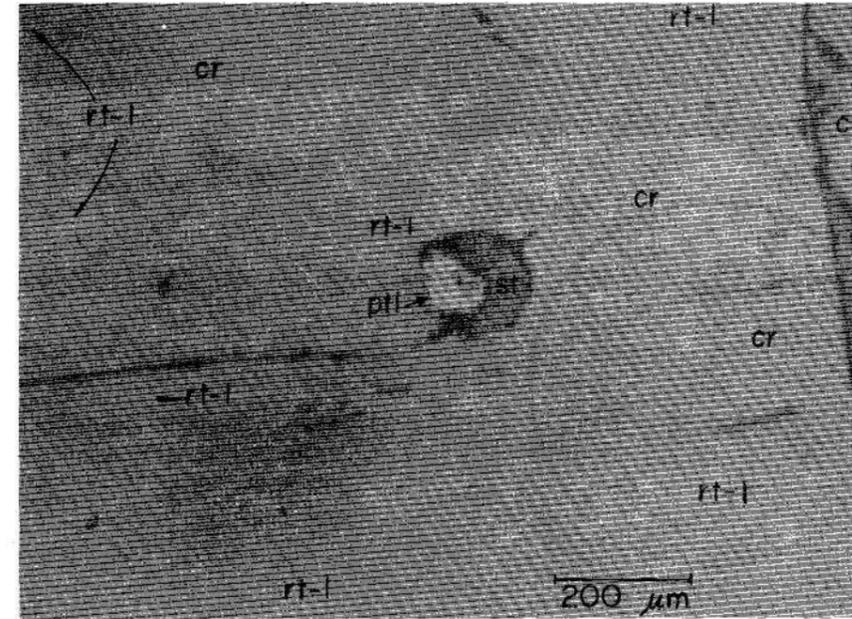
**FOTO A-3.** Microfotografía. Muestra: PS-14. Cristales de rutilo-II (rt-2) en microgrietas de las espinelas cromíferas (cr). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).

### Paragénesis B

En la sucesión de formación de las paragénesis le continúa la paragénesis B, la cual está constituida por espinelas cromíferas y minerales del grupo del platino (MGP), en este caso específico le corresponde a la fase de la serie laurita-erlichmanita (paragénesis B-1); las dimensiones de los minerales del grupo del platino varían entre los primeros micrones de longitud (8-2  $\mu\text{m}$ ). Las espinelas cromíferas de acuerdo con los análisis de microsonda electrónica se corresponden con cromita-

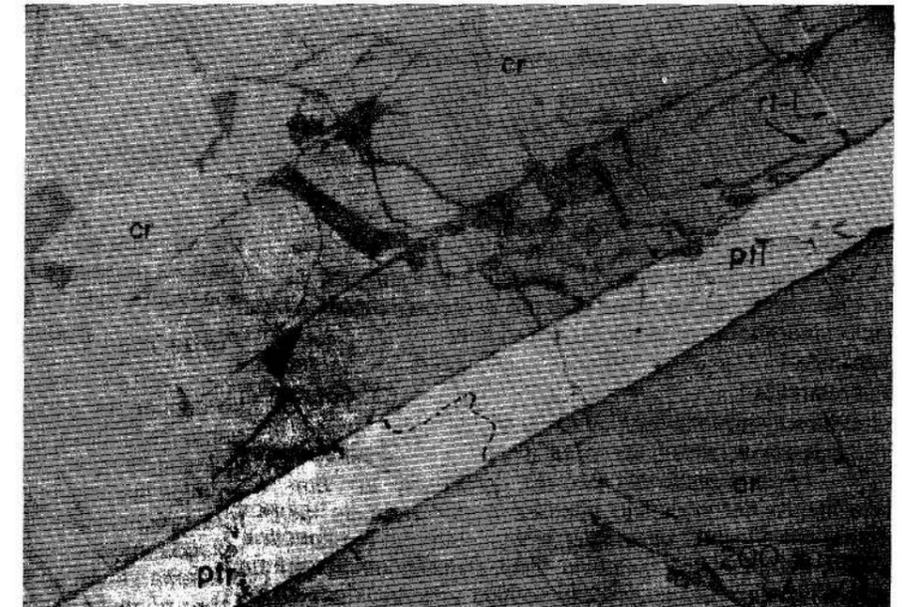
magnocromita. Por la temperatura de formación las paragénesis A y B, pueden haberse formado al inicio del proceso magmático, esto se destaca en el esquema de consecutividad de formación de las menas.

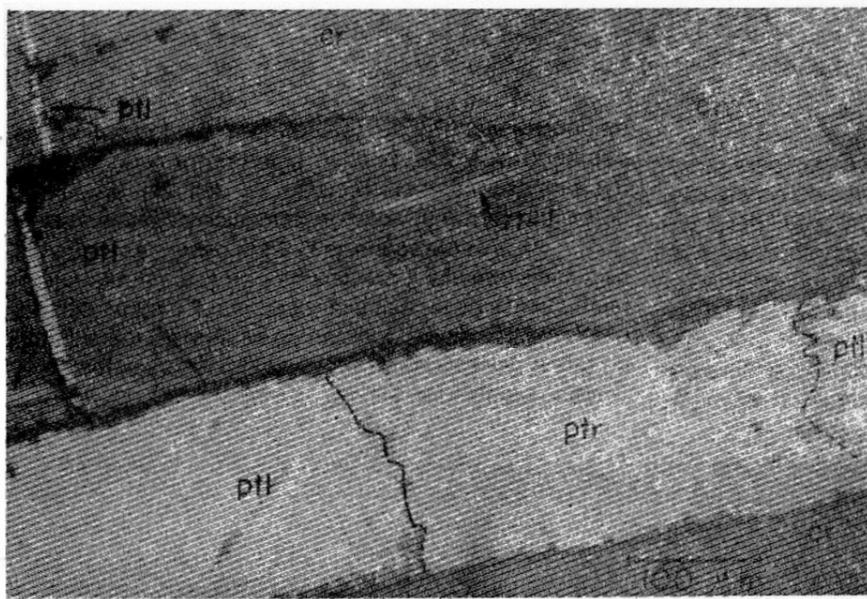
En la paragénesis B-2 los minerales siguen la secuencia cromita I-pentlandita-pirrotina (laurita-erlichmanita)-calcopirita, destacándose que los minerales del grupo del platino se localizan en el seno de los sulfuros en forma de inclusión mecánica, específicamente en la pirrotina-pentlandita.



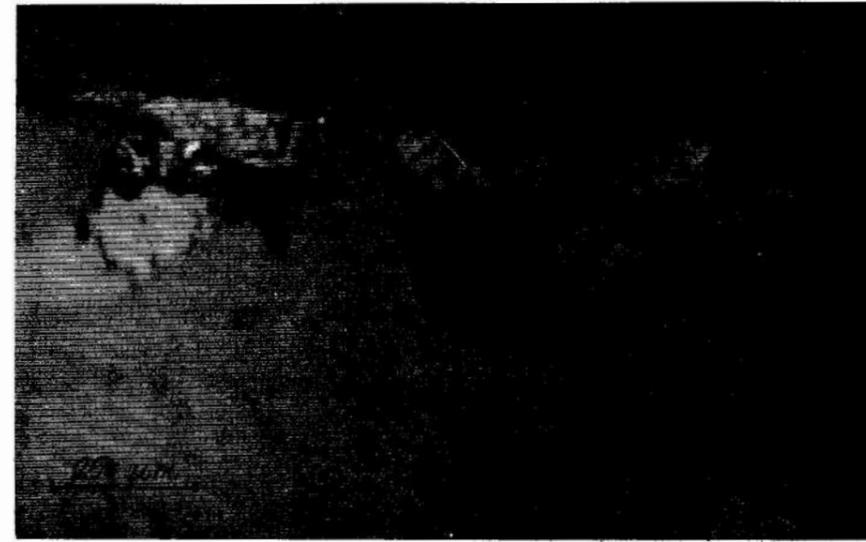
**FOTO B-1.** Microfotografía. Muestra: PS-6b. En el centro, cristal prismático de rutilo-I (rt-1) en espinelas cromíferas (cr). En el extremo inferior derecho, grieta con pantlandita-I (pt). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).

**FOTO B-2.** Microfotografía. Muestra: PS-6a. Microgrieta con pirrotina (pr) con huellas del análisis de microdureza Vickers. Arriba, a la derecha, un cristal de rutilo (rt-1). Abajo, un cristal de isoferroplatino (pt). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).



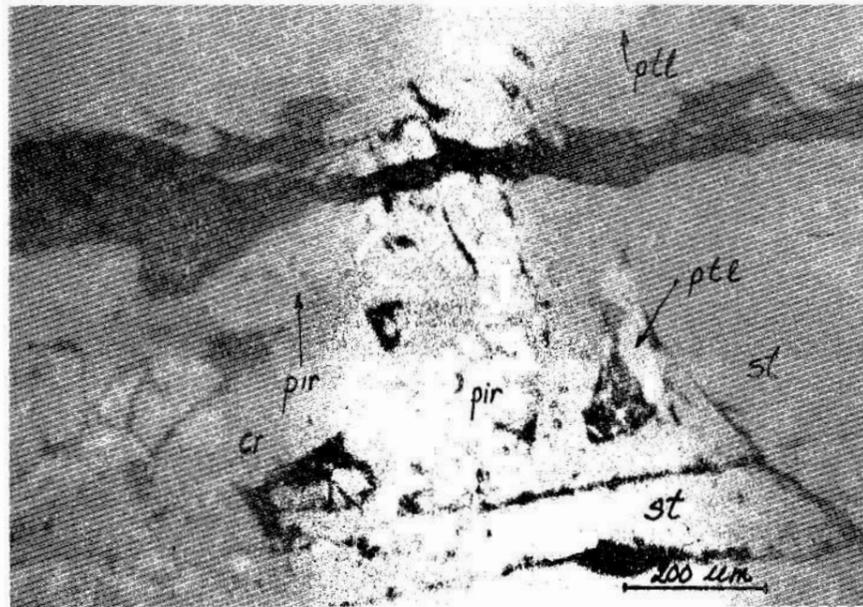


**FOTO B-3.** Microfotografía. Muestra: PS-8c. Microgrieta en las espinelas cromíferas (cr) con sulfuros: pentlandita (ptl) y pirrotina (pr). Abajo, cristal de rutilo (rt). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).



**FOTO C-1.** Microfotografía. Muestra: PS-12a. Agregado de cristales de mackinawita (mkw) en piroxenos monoclinicos (pxm). En el extremo inferior derecho, grieta con pentlandita-I (ptl). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).

**FOTO B-4.** Microfotografía. Muestra: PS-16. Sulfuros: Pentlandita (ptl), pirita (pir) en una microgrieta con clinopiroxenos (st) en espinelas cromíferas (cr). (JENAPOL-U. 200x. En aire. Luz normal).



### Paragénesis C

La paragénesis C incluye minerales de la paragénesis B, segregados durante la etapa de diferenciación magmática que por su orden son:

- a) cromita-I
- b) pentlandita-I
- c) laurita-erlichmanita

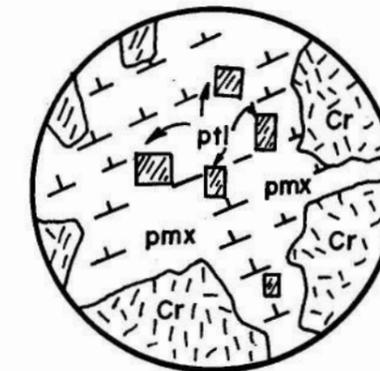
Posteriormente, en los procesos de emplazamiento del complejo ofiolítico y por ende de las menas cromíferas, se formaron los sulfuros (heazlewoodita-mackinawita) que son típicos de la etapa de serpentización del complejo ofiolítico y de las menas cromíferas asociadas.

En el proceso de alteración de la pentlandita se formó la heazlewoodita, de acuerdo con la concepción de P. Ramdhor (Muñoz y Campos; 1992), es

por ello que se localizan en paragénesis primarias, de génesis magmática, en asociación con sulfuros alterados (ver Foto C-1).

### Paragénesis D

Los minerales que constituyen la paragénesis D se encuentran espacialmente ubicados en los diques de gabro-pegmatitas, los cuales son cortantes al resto de las litologías del complejo ofiolítico y a las menas cromíferas, en ellos las espinelas cromíferas se presentan con textura brechoide, rodeados de plagioclasas básicas y piroxenos monoclinicos, ocasionalmente las espinelas presentan finas vetillas de uvarovita, se destaca en las gabro-pegmatitas cristales idiomórficos de pentlandita-II, con dimensiones de 1 a 1,5 cm; además pueden observarse procesos de alteración en los mismos (Figura D-1).



**FIGURA D-1.** Microesquema. Muestra: PS-42a. Cristales idiomórficos de pentlandita-II (ptl-2) rodeados de una masa de cristales de piroxenos monoclinicos (pxm), próximos a agregados brechiformes de espinelas cromíferas (cr), 200x.

Las paragénesis minerales asociadas a las espinelas cromíferas del yacimiento Potosí, pueden quedar representadas temporalmente en el orden en

que han sido analizadas, tal como se representa en el Esquema siguiente.

### ESQUEMA. Sucesión genética de las paragénesis del yacimiento Potosí

I. Estadío Pre-Magmático  
(Fusión)  
(T = 1 500-1 200 °C)

#### Paragénesis A

Cromita-I  
Rutilo-I  
Rutilo- II

II. Estadío Magmático  
Temprano  
(Fusión)  
(T = 1 200-700 °C)

#### Paragénesis-B

Cromita-I  
Laurita-Erlichmanita  
Pentlandita-I  
Pirrotina  
Calcopirita

III. Estadío Magmático  
Tardío  
(Fusión)  
(T=700-100 °C)

#### Paragénesis-C

Cromita-I  
Pentlandita-I  
Laurita-erlichmanita  
Heazlewoodita  
Mackinawita

IV. Estadío Magmático Final  
(Diques de gabro-pegmatitas)  
(T=550-100 °C)

#### Paragénesis-D

Cromita-II  
Pentlandita-II  
Plagioclasas básicas  
Minerales del grupo de las serpentinas  
Clinopiroxenos  
Uvarovita

**MODELO TEORICO  
DE FORMACION  
DEL YACIMIENTO POTOSI**

En correspondencia con las condiciones geológicas del área del yacimiento Potosí y el estudio de

sus principales rasgos estructurales, de las rocas encajantes, de los resultados de las investigaciones mineralógicas de sus menas y el orden de sucesión genética de las paragénesis identificadas; se puede inferir el modelo teórico de formación del yacimiento Potosí quedando representado según las Figuras siguientes:

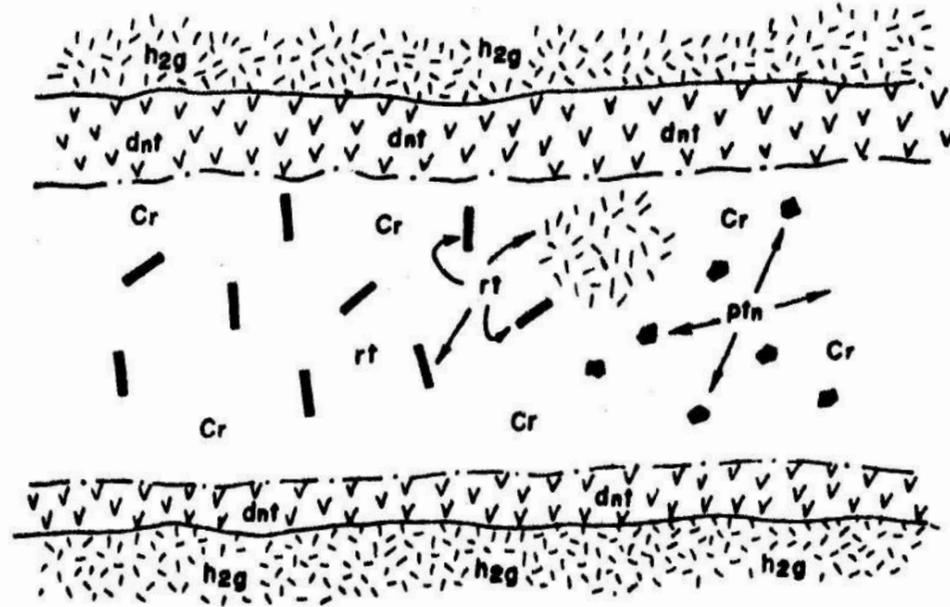


FIGURA F-1.

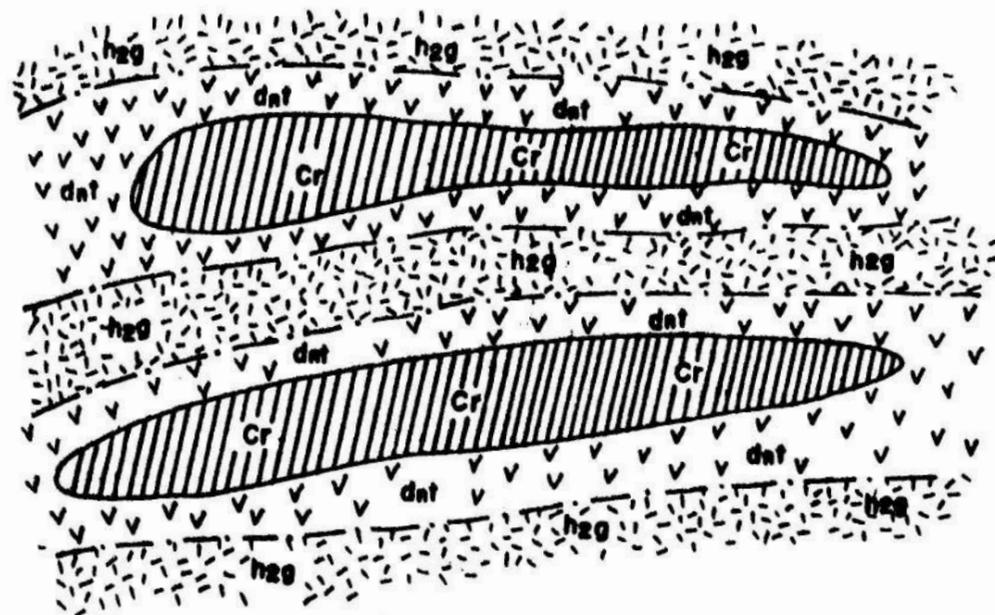


FIGURA F-2.

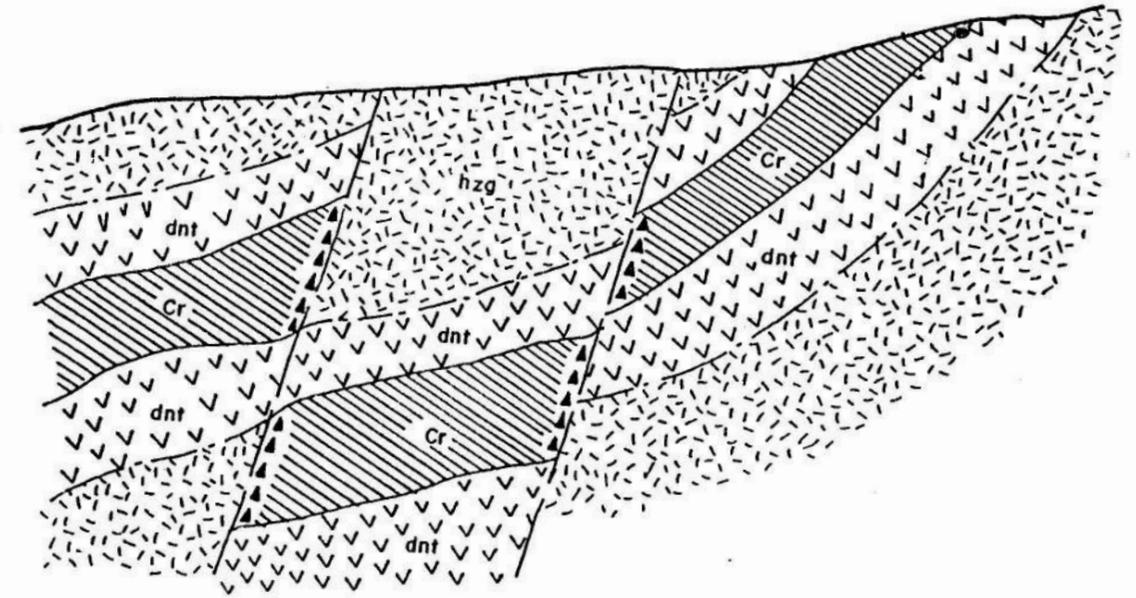


FIGURA F-3.

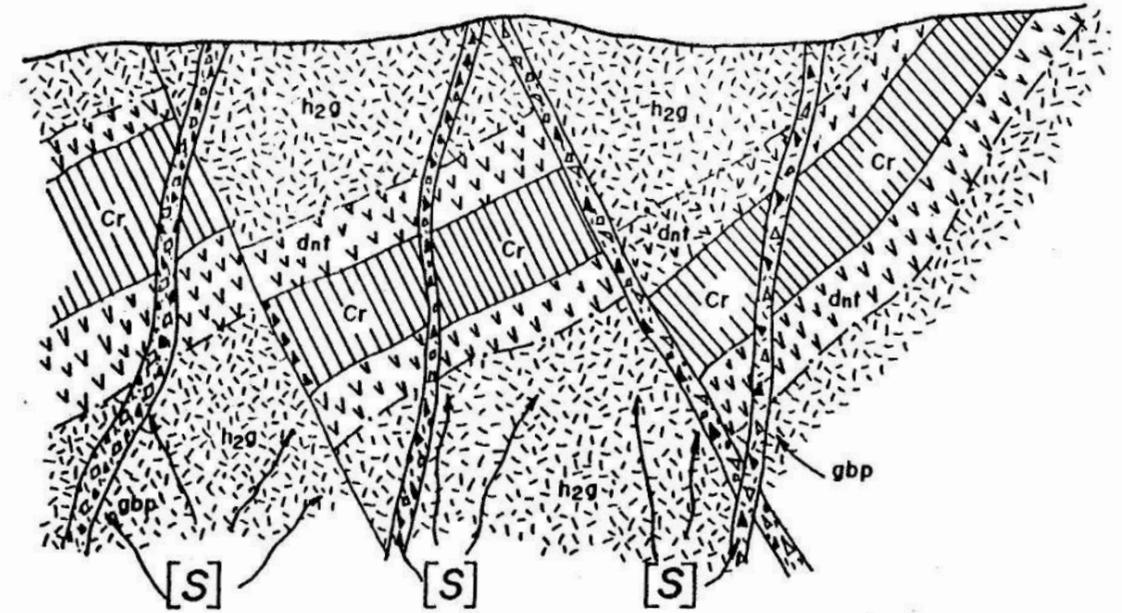


FIGURA F-4.

La Figura F-1 se refiere al inicio del proceso de diferenciación magmática del complejo ofiolítico, donde se formaron cristales idiomórficos de rutilo-I, los cuales se segregaron en el seno del fundido cromífero. Debe destacarse que el aspecto de los cristales, en su mayoría, es acicular y prismático, y están distribuidos caóticamente. También debió formarse una fase de descomposición de solución sólida entre las espinelas cromíferas y el rutilo-I, este último identificado como finísimas agujas con longitudes entre los primeros micrones (3-12  $\mu$ m).

Un proceso similar se desarrolló en la cristalización de la fase de los minerales del grupo del platino: laurita-erlichmanita, ambos procesos debieron producirse casi simultáneamente. Posteriormente a las

espinelas cromíferas, cristalizaron en forma de cuerpos podiformes y en menor grado en lentes y schlieren, rodeados de dunita y dunita serpentinizadas, y éstas a su vez en harzburgitas y lherzolitas. Este proceso o fase inicial de enfriamiento y cristalización de las ultramafitas cumulativas y otras litologías del complejo ofiolítico, se desarrolló con el emplazamiento en la corteza superior y la serpentización de los complejos formados (Figura F-2).

Como consecuencia del emplazamiento y fallamiento de todo el complejo, fue perturbada la yacencia primaria de los cuerpos podiformes de las espinelas cromíferas, así como las alineaciones primarias de las litologías ofiolíticas, quedando en la actualidad completamente dislocadas y con orientaciones diferentes a las

iniciales, en el momento de segregación de las espinelas cromíferas y de los minerales silicatados, principalmente los piroxenos monoclinicos. El yacimiento Potosí constituye un ejemplo típico donde el cuerpo mineral fue fallado y desplazado mediante un sistema de fallas paralelas, quedando éste seccionado en bloques con distintas posiciones hipsométricas, pero ubicado espacialmente en el complejo ultramáfico. Lo expuesto anteriormente queda demostrado con el brechamiento de las espinelas cromíferas en las zonas de fallas y en las estructuras cataclásticas y de agrietamiento de las muestras de mano, y de microagrietamiento en las muestras analizadas por microscopía, donde se ponen de manifiesto variedades de estructuras metamórficas, fundamentalmente las debido al dinamometamorfismo (Figura F-3).

Finalmente, se desarrolló una fase de mineralización posterior al fallamiento de las litologías del complejo ofiolítico y de los cuerpos podiformes de las espinelas cromíferas; su composición química y mineralógica se desarrolló con un papel muy activo del azufre, puesto de relieve en la paragénesis sulfurada, integrada por los minerales pirrotina-pentlandita-pirita, en menor grado calcopirita. Esta mineralización sulfurada penetró por los sistemas de agrietamiento de las litologías del complejo ofiolítico y de las menas cromíferas, lo cual ha quedado demostrado en los análisis realizados por luz reflejada. Simultáneo a este proceso se ubicaron los diques de gabro-pegmatitas como la formación litológica más joven y que a la vez fue afectada por la mineralización sulfurada a que se hizo mención, corroborado por la presencia de sulfuros en los cuerpos de los diques de gabro-pegmatitas, fundamentalmente pentlandita idiomórfica (Figura F-4).

### CONCLUSIONES

1. Las paragénesis minerales asociadas espacialmente a las espinelas cromíferas, se formaron en fases antes y después de la segregación de las menas del yacimiento Potosí.

PARAGENESIS A

PARAGENESIS B (formación anterior a la segregación de las espinelas cromíferas)

PARAGENESIS C

PARAGENESIS D (formación posterior a la segregación de las espinelas cromíferas).

2. La paragénesis B, específicamente su componente inicial B-1, es continua espacial y temporalmente con la paragénesis A.

3. La paragénesis C, espacial y temporalmente se sitúa en las fases finales del estadio magmático propiamente dicho y durante los procesos de serpentinización de los complejos máficos y ultramáficos de las litologías del complejo ofiolítico.

4. La paragénesis D, de formación más joven que las anteriores asociaciones, está desplazada temporalmente del resto de las paragénesis, vinculándose espacialmente con los diques de gabro-pegmatitas, a los sistemas de fallas y otros elementos estructurales.

5. La formación del yacimiento Potosí se corresponde con una fase de mineralización magmática inicial que comprende la segregación del rutilo, de los minerales del grupo del platino y de las espinelas cromíferas (Paragénesis A - B).
6. Las transformaciones posteriores (tectónicas y magmáticas) se sitúan detrás del emplazamiento de todo el complejo (Paragénesis C - D).

### AGRADECIMIENTOS

A todos los que de una forma u otra han contribuido a la ejecución del presente trabajo, en especial a los doctores V.V. Distler y Manfred Wolf, del Instituto de Geología de los Yacimientos Minerales de la Academia de Ciencias de la ex-Unión Soviética y de la Sección de Yacimientos Minerales de la Academia de Minas de Freiberg (RFA) respectivamente, por los servicios analíticos de las menas y sus recomendaciones. Al profesor Dr. John F. Lewis del Departamento de Geología de la Universidad de Washington, D.C. (USA), por la literatura especializada facilitada y sus recomendaciones. Finalmente mi agradecimiento al Dr. Gerardo Orozco Melgar, decano de la Facultad de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, por la lectura del manuscrito y sus sugerencias.

### BIBLIOGRAFIA

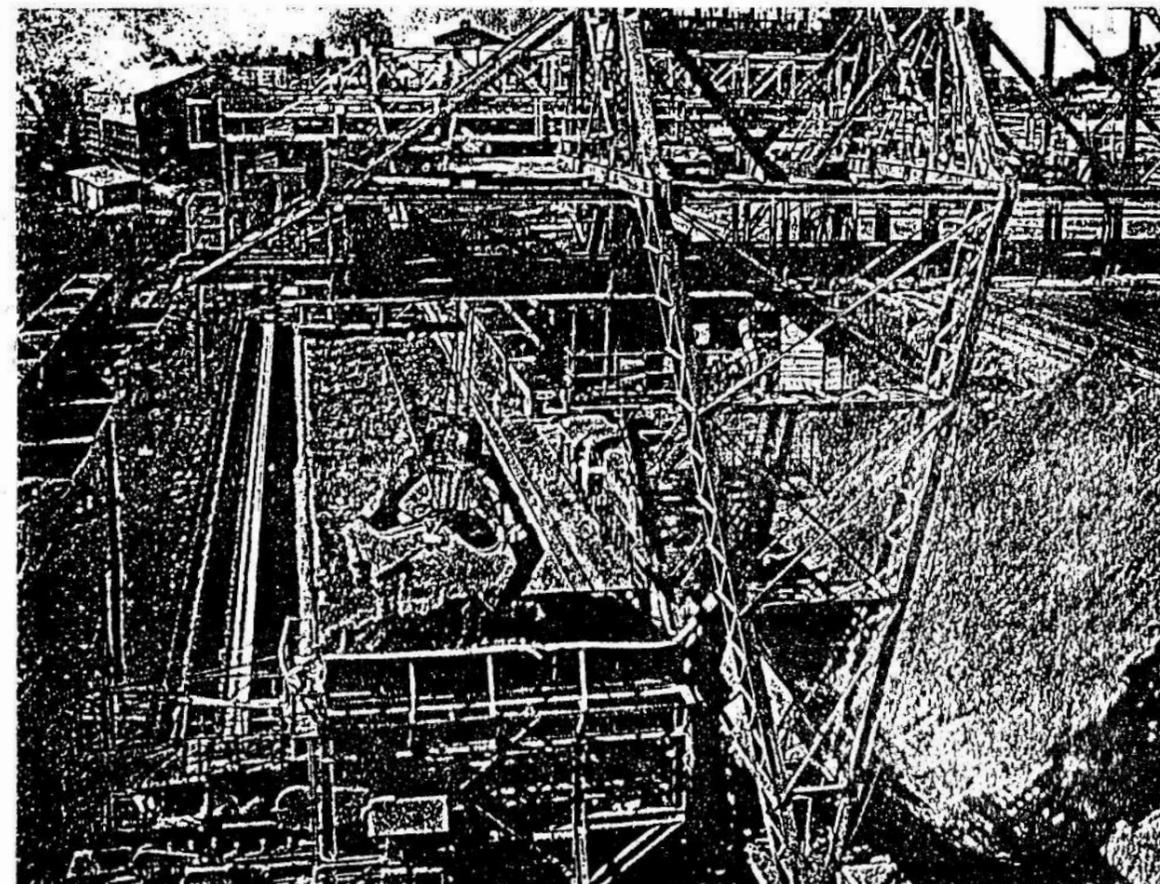
- BLISS, N.W. and W.H. MACLEAN: "The paragenesis of zoned chromite from Central Manitoba", *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 39, pp. 973-990, 1975.
- CAMERON, E.N. and M.E. EMERSON: "The origin of certain chromite deposits of the eastern part of the Bushveld Complex", *Economic Geology*, vol. 54, pp. 1151-1213, 1959.
- CAMERON, E.N. and G.A. DESBOROUGH: "Origin of certain magnetite bearing pegmatite in the eastern part of the Bushveld Complex, South Africa", *Economic Geology*, vol. 77, pp. 197-225, 1964.
- CAMERON, E.N.: "Unusual Titanian-Chromian spinels from the eastern Bushveld Complex", *American Mineralogist*, vol. 58, pp. 172-188, 1973.
- CHARBERLAIN, H.M. and R.N. DELABIO: "Mackinawite and vallerite in the Muskox intrusion", *American Mineralogist*, vol. 50, pp. 682-695, 1965.
- DESBOROUGH, G.A. et al.: "Phase relations of pyrrhotite", *Economic Geology*, vol. 60, pp. 1431-1450, 1965.
- HAWLEY, J.E. and V.A. HOW: "Intergrowths of pentlandite and pyrrhotite", *Economic Geology*, vol. 52, pp. 132-139, 1957.
- KENAREV, V.V.: "Características mineralógicas del yacimiento Potosí, Cuba", *Revista Tecnológica*, vol. 14, no.3, La Habana, 1966.
- KRISHNA RAO, J.S.R.: "Chromite from Kondapalle, Krishna District Andhra Pradesh, India", *Economic Geology*, vol. 59, pp. 678-683, 1964.
- MUÑOZ, J.N. y M. CAMPOS: "Las paragénesis minerales en las menas cromíferas del yacimiento Potosí, Moa, Holguín, Cuba", *Minería y Geología*, no. 3, 1992.
- MURASHKO, V. y LARIONOV: "Informe sobre los resultados de los trabajos de revisión y evaluación de búsquedas para las cromitas metalúrgicas en la provincia de Oriente, CNFG, Inv., Ciudad de La Habana, 1967.
- PAGE, N.G. et al.: "Palladium, platinum, rhodium, ruthenium and iridium in chromites from the Massif du Sud Tiebighi Massif, New Caledonia", *Economic Geology*, vol. 77, pp. 1571-1777, 1982.

RAMDOHR, P.: *The ore minerals and their intergrowths*, 2nd. ed., 2 vol., 1205 p., Oxford, Pergamon Press, 1982.

SEMENOV, Y.L.: "Yacimientos cromíticos de Cuba", *Revista Tecnológica*, nos. 3 y 4, La Habana, 1968.

STOCKMAN, H.W. and P.F. HLAVA: "Platinum-group minerals in Alpine Chromitites from Southwestern Oregon", *Economic Geology*, vol. 79, pp. 491-508, 1984.

THAYER, P.T.: "Chrome resources of Cuba", *U.S. Geological Survey Bull.*, 935, pp. 1-74, 1941-1942.



# MOA

## LE OFRECE LA POSIBILIDAD

## QUE Ud. ESPERA