

**EL YACIMIENTO DE HIERRO DEL ARROYO
VALENTINES. (FLORIDA, URUGUAY)
Parte I — LA MENA FERRÍFERA**

por
JORGE BOSSI

Sección Geoquímica — Facultad de Química

RESUMEN

Importantes reservas de rocas con 35-40% de Fe en peso se encuentran en los alrededores de Valentines, en los departamentos de Treinta y Tres y Florida (Uruguay).

Dicha roca aparece en los flancos de pliegues en una región de alto grado de metamorfismo, con intensos fenómenos tectónicos.

En la presente comunicación se realiza el estudio petrográfico de la roca ferrífera. En profundidad está constituida por cuarzo, magnetita y augita aegirínica principalmente y en superficie, por alteración meteórica, pasa a una roca constituida por cuarzo y hematita.

Se han observado todas las etapas de alteración parcial y se deduce de allí fenómenos supergénicos de uralitización y martitización.

En la superficie, el anfíbol resultante pasa a serpentina y es parcialmente eliminada por lixiviación.

Estos fenómenos de meteorización provocan un débil aumento en el contenido de Fe en peso en la roca superficial, que pasa de un promedio de 38% a profundidades mayores a 30 m, a un valor de 39.5-40% en superficie.

La textura responde a la de un itabirito, pero con alto grado de metamorfismo y en consecuencia, mayor desarrollo del tamaño de grano y diferente mineralogía.

SUMMARY

Very important reserves of iron ore with 35-40% Fe, are surrounding Valentines in Treinta y Tres and Florida departments (Uruguay).

This ore appears in limbs of folds in a high-grade metamorphic area with great tectonics.

In this paper is studied the ore petrography. This is formed principally by quartz, magnetite and augitaegirine, but in surface, it passes, by weathering, into a rock formed by quartz and hematite.

We have observed every stage of partial alteration and from there, it is deduced supergenic phenomena of uralitization and martitization.

The resultant amphibol passes in surface to serpentine, which is partially eliminated by lixiviation.

These weathering phenomena cause an increase in the iron content in weight in the superficial rock, from a value of 38% at depths greater than 30 m, to 39.5-40% in surface.

Texture nearly responds to that of an itabirite, but with a high-grade metamorphism and therefore, bigger grain size and different mineralogy.

INTRODUCCION

En los alrededores de la localidad de Valentines, a ambos lados de la Cuchilla Grande, que divide los departamentos de Treinta y Tres y Florida, existen importantes concentraciones de mineral de hierro. Es una zona de topografía ondulada cuyas mayores elevaciones se deben a la resistencia a la erosión de la mena en estudio.

Con motivo de su posible aprovechamiento económico se ha relevado por aerofotogrametría, a escala 1:20.000, el área aconsejada por Caorsi, J. H. y Goñi, J. C. (1959). Durante 1960 y 1961 se realizaron labores de descubierta y perforaciones en tres de los cerros mineralizados (Apretado, Aurora e Isabel). Dichos trabajos han permitido estudiar en detalle la mena ferrífera y mostraron además su naturaleza litológica en profundidad.

El presente trabajo fué realizado en la Sección Geoquímica del Instituto de Investigación Libre y Asesoramiento de la Facultad de Química, por lo que a su Director, Dr. Juan F. Saredo, debemos nuestro más sincero agradecimiento.

Los trabajos de campo fueron realizados conjuntamente con el Br. Angel Fernández, a quien se debe el primer esbozo de la estructura geológica del área y sobre cuya base se ha trabajado para la confección del mapa geológico adjunto. Además han sido muy valiosas sus observaciones en la redacción de los originales, que fueron corregidos también por el Q. I. H. Goso.

Los análisis químicos del piroxeno y del anfíbol, lo mismo que las determinaciones espectrofotométricas de manganeso, han sido realizadas en la Sección Geoquímica por la Srta. Q. I. Mirta Umpierre

y el resto de los datos químicos fueron obtenidos en el laboratorio del Instituto Geológico bajo la dirección del Q. I. H. Tosi.

La separación de las especies mineralógicas en aceptable estado de pureza ha sido realizada por el Sr. W. Caggiano y las láminas delgadas y secciones pulidas fueron confeccionadas por el Sr. A. Sande.

A todos ellos, debemos, pues, nuestro agradecimiento.

ESTRUCTURA GEOLOGICA

Ha sido estudiada en detalle el área que rodea los cerros Apretado, Aurora e Isabel, y que se extiende hasta el cerro de los Morochos, unos 3 km al este de los mencionados (fig. 1).

Con la ayuda de las fotos aéreas a escala aproximada de 1:15.000, fué posible determinar que: "...es muy clara la existencia de un pliegue anticlinal de eje N70W, curvándose hasta el N en el periclinal (zona del cerro Apretado), y pliegues menores iso y anticlinales de ejes paralelos al mayor que ocupan el área determinada por la confluencia de los arroyos Valentines y Los Gauchos". Fernández, A. (1961).

La concentración de hierro se realiza en los flancos de algunos de los pliegues citados, especialmente en el flanco occidental del periclinal del pliegue mayor. Acompaña el plegamiento como capa competente y responde a los esfuerzos tectónicos con fallas normales al rumbo, mientras el granito gnéssico de la parte central, acompaña las flexiones sin sufrir dislocaciones importantes.

Cada cerro actualmente está constituido por un bloque de falla de la roca ferrífera, que se distribuye como banco alargado, con una potencia promedio de 50 m.

Por una de las fallas corre el actual curso del arroyo Valentines, por lo menos en la zona relevada por nosotros. Esta falla separa entre sí los cerros Apretado y Aurora y afecta también el granito gnéssico de la nariz del anticlinal mayor, por lo que resulta posterior e independiente de los esfuerzos de flexión. En cambio, la falla que separa los cerros Aurora e Isabel ha sido con desplazamiento de los bloques en la horizontal y está vinculada a los esfuer-

zos de flexión, por cuanto se provoca simultáneamente un micropliegue lateral en el granito gnéissico del centro.

En el cerro Apretado, cuyo banco mineralizado sirvió de base principal al presente estudio, la mena presenta una potencia de 55 m, buzando 70° al W. Está constituida por varios bancos paralelos de potencia variable entre 2 y 30 m, separados por bandas estériles cuyo espesor varía de 0.50 a 3 m.

Estas "bandas estériles" presentan variaciones texturales y mineralógicas importantes apareciendo cuatro tipos petrográficos principales:

a) granito anfibólico a grano grueso, textura a veces pegmatítica, con cristales sin sutura, llegando a tener hasta 5 cm de arista, sólo el anfíbol desarrollando automorfismo;

b) granito normal, con poca cantidad de ferromagnesianos accesorios, cuyo feldespato es sistemáticamente ortosa micropertítica;

c) gneiss anfibólico, con lechos ricos en magnetita de 1 a 2 cm de potencia, aún cuando dominan siempre las bandas cuarzo-feldespáticas, que en este caso contienen oligoclasa hasta en un 50% del total de los feldespatos;

d) piroxenita, con pasaje gradual al gneiss antes descrito, pero con un neto dominio del piroxeno sobre el resto de los minerales.

Tanto el itabirito como la piroxenita, en la proximidad de los "filones" pegmatoides y graníticos, presentan a las claras un enriquecimiento feldespático, determinándose localmente estructuras "augen" y en nidos feldespáticos, que muestran una posible actividad de fluidos neumatolíticos, responsables de la formación de estos filones, a veces a borde difuso, lo mismo que de recristalizaciones cuarzo-magnéticas, a veces acompañadas por un enorme desarrollo en los cristales de anfíbol.

PETROGRAFIA

El estudio se ha realizado fundamentalmente en la roca portadora de los minerales de hierro.

La gran similitud de nuestra roca de superficie con el itabirito brasilero cuando éste sufre alto metamorfismo es uno de los puntos

más importantes a señalar, sobretodo, por la posible ayuda para descifrar el problema genético de nuestra acumulación ferrífera.

Paralelamente, merced al estudio de los testigos de perforaciones, ha sido posible determinar cuál es la verdadera naturaleza mineralógica de una roca cuarzo-hematítica en superficie, y a la vez, los resultados de una alteración meteórica prolongada (por lo menos desde el Devónico), en una roca sumamente difícil de ser recorrida por aguas supergénicas.

Adoptaremos provisoriamente el nombre de itabirito para nuestra roca aún cuando su origen no ha sido dilucidado definitivamente.

El nombre se basa más que nada, en el aspecto petrográfico y en el hecho que una acumulación sedimentaria y metamorfismo profundo posterior nos parece la hipótesis de trabajo más aceptable en función de la estructura geológica y el estudio petrográfico.

Describiremos primero la roca original, luego la roca de superficie que ha sufrido los fenómenos de meteorización y finalmente los procesos que condujeron de una a otra.

LA ROCA ORIGINAL

La roca fresca, obtenible a profundidades mayores a los 90 m, se presenta con textura granoblástica y un débil esbozo de esquistosidad. A pesar de la falta de orientación de los minerales, existe una parcial distribución selectiva en planos independientes, y, láminas cortadas en dirección apropiada, muestran esto bastante claramente (fig. 2).

En apoyo a esto, las rocas superficiales muestran bastante frecuentemente una esquistosidad conspicua, sobretodo en aquellos bloques mineralizados que no se encuentran en la proximidad de la nariz de un pliegue.

Desde el punto de vista textural, el hecho observado es que se desarrolla menos la esquistosidad en la nariz de los pliegues que en los flancos de éstos.

El tamaño de grano es bastante variable según los distintos minerales. Así, el *apatito*, la *pirita* y el *esfeno* aparecen sistemática-

mente en cristales muy pequeños, cuyo tamaño oscila entre 0.1 y 0.2 mm de longitud mayor.

No obstante, los minerales más abundantes de la roca, se presentan en granos mucho mayores, determinando un tamaño promedio entre 0.5 y 1.0 mm.

El *cuarzo* presenta un valor mínimo de 0.4 mm y su tamaño de máxima frecuencia es de 0.7 mm; el *piroxeno* presenta un tamaño mínimo de 0.3 mm, con máxima frecuencia entre 0.8 y 1.0 mm; la *magnetita*, con una morfología muy irregular impide tomar valores con exactitud equivalente, pero presenta valores cercanos a los expuestos.



Fig. 2. — Dibujo en cámara clara, a débil aumento ($\times 3$), de una lámina delgada de la roca fresca a 90 m de profundidad. En blanco, cuarzo; en negro, magnetita; rayado, piroxeno; punteado, apatito. El rayado en el piroxeno es sólo simbólico y raramente sigue la dirección de clivaje.

Mineralogía

La composición mineralógica es muy simple pudiéndose tomar el siguiente análisis modal como promedio representativo:

magnetita	32%
cuarzo	42%
augita aegirínica	24%
hematita	1%
esfeno	0.5%
apatito	0.5%
pirita	presente

La *magnetita* se presenta en la mayoría de las secciones estudiadas con sus propiedades ópticas comunes.

En algunos casos "presenta un tinte violáceo haciendo pensar en cierta difusión de titanio en su red, aunque insuficiente como para separarse en la fase ilmenita", Goñi, J. C. (1960). Determinaciones de Ti realizadas en magnetita pura, han dado valores entre 0.011 y 0.076% (5 determinaciones) dando aproximadamente los mismos valores la magnetita con tinte liláceo que la magnetita común.

En dos de las 160 muestras estudiadas, la magnetita presenta un tono amarillento cercano al de la jacobsonita, pero separada esta especie y determinado Mn espectrográficamente, ha dado un valor de 0.08% expresado en MnO. Este tono amarillento lo presentan el 10% de los granos en las muestras estudiadas, por lo que el contenido en MnO de nuestro mineral no puede ser superior al 0.8% y en consecuencia no existe sustitución diadójica importante.

La magnetita se presenta en la roca bajo dos formas principales: en pequeña proporción, como cristales automorfos, siempre muy pequeños, incluidos principalmente en cuarzo; y la mayor parte de la masa, sin forma propia, ocupando huecos dejados por los otros minerales. Hay, pues, dos momentos en la recristalización de la magnetita.

El *cuarzo* jamás presenta forma propia; aparece constantemente con extinción ondulosa; con cantidades variables de burbujas, siempre monofásicas. Contiene inclusiones de piroxeno, magnetita y apatito, pero aparece también incluido él, en otros minerales.

El *piroxeno*, bien desarrollado, con clivajes según (110), se presenta en cristales prismáticos generalmente xenomorfos de color verde con marcado pleocroísmo.

Para la determinación de esta especie se han seguido en la medida de lo posible las recomendaciones trazadas por Hess, H. H. (1949).

Han sido realizadas las siguientes determinaciones:

Pleocroismo: n_p verde pálido; n_m amarillo verdoso; n_g verde.

$n_m = 1.686 \pm 0.002$

birrefringencia = 0.025

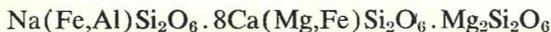
$n_g \Delta c = 56^\circ$

$2V = 67^\circ$ (Fedoroff, 3 determinaciones)

El valor angular entre n_g y c ha tenido que ser determinado entre la vibración y la línea de clivaje, pues nuestro piroxeno no presenta maclas. Un solo cristal de los 50 medidos, dió un valor de 71° con el resto de las propiedades coincidentes.

Para el análisis químico ha sido separado de la roca por mollienda entre 60 y 80 mallas por pulg², la magnetita extraída por imán, lo mismo que aquellos granos de piroxeno con inclusiones magnéticas y la mayor parte del cuarzo se separó con bromoformo. El apatito se eliminó, por lo menos parcialmente, por un ataque ácido suave. La pureza fué controlada al microscopio y presentaba cuarzo incluído, como único mineral extraño.

La proporción entre las distintas moléculas teóricas es la siguiente:



lo que sería, pues,

acmita-jadeíta	10%
enstatita	10%
diópsido-hedembergita	80%

Tenemos pues, una augita aegirínica con una relación $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$ mayor a 1.0 y una relación $\text{Na}^+/\text{R}^{++}$ de 1/10.

Las propiedades no difieren grandemente del término 80% diópsido 20% acmita que presentan Winchell, A. N. and Winchell, H. (1951) en una curva de interpolación en la página 414.

	n_m	$2V$	$n_{gc}\Delta$
Piroxeno Valentines	1.686	+67°	56°
80% Di — 20% Ac.	1.69	+70°	52°

Entendemos pues, que nuestro término de la familia de los piroxenos encaja dentro del grupo augita-aegirina.

La *hematita*, el *esfeno*, el *apatito* y la *pirita* se presentan con las propiedades comunes y, dado su bajo porcentaje no nos fué posible obtener datos más precisos que los ópticos corrientes para ver si existe en ellos algún elemento químico digno de señalar. El esfeno no presenta ningún indicio de radiactividad, pues asociado tan íntimamente con un piroxeno pleocroico, hubiera producido en él, destrucción parcial de la estructura con aparición de halos.

Orden de cristalización

El apatito y una ínfima parte de la magnetita, así como la pirita, aparecen en cristales muy pequeños (entre 0.1 y 0.2 mm) automorfos, sistemáticamente englobados por el resto de los minerales constituyentes. Generalmente el huésped es cuarzo, aún cuando pueden serlo la magnetita o el piroxeno.

En consecuencia, esos serían los primeros minerales en formarse, seguidos por cuarzo, piroxeno, esfeno y finalmente, la mayor parte de la magnetita.

El esfeno nunca presenta forma propia, el piroxeno es generalmente xenomorfo, aunque algunos cristales desarrollan sus caras naturales, mientras el cuarzo y la masa principal de la magnetita se han amoldado a los minerales restantes.

La falta de una secuencia constante en el orden de cristalización, la ausencia de automorfismo en la mayoría de los minerales, indican una cristalización en el sólido, posiblemente una recristalización metamórfica, con la mayor parte de la magnetita recristalizando en la última fase, con textura digitada, aprovechando huecos dejados por los otros minerales.

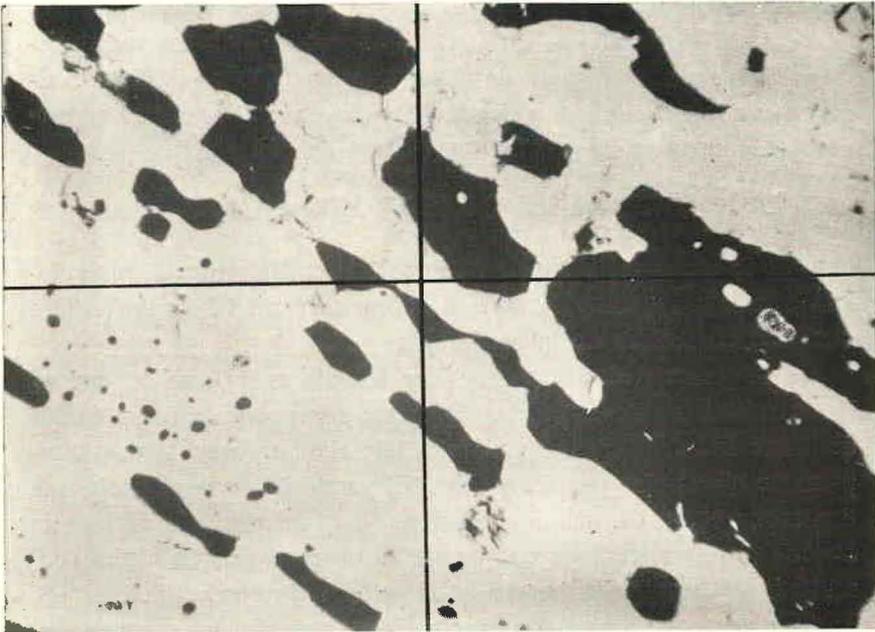
En muchas muestras son conspicuos los feldespatos. El tipo dominante es un feldespato potásico con micropertitización sódica muy intensa, aún cuando frecuentemente aparecen grandes cristales de microclina sódica sin desmezcla.

Generalmente estos feldespatos son los últimos minerales en formarse. No ha sido observado ningún cristal de feldespato englobado por magnetita, mientras la inversa se presenta no excepcionalmente.

Los feldespatos han sido incorporados a la roca posteriormente a su formación, por lo que no incluimos su estudio dentro de los constituyentes de la mena ferrífera y en cambio, pensamos estén vinculados a los fenómenos posteriores sufridos por ésta.

ROCA SUPERFICIAL

La mena se presenta en superficie constituida por una roca a grano grueso, bien identificables sus minerales constituyentes, hematita y cuarzo, y generalmente con un bandeado conspicuo que permite determinar sin problema rumbo y buzamiento en la mayoría de los afloramientos.



Microfoto 1. — Itabirito superficial, a base de cuarzo y hematita, con bandeado conspicuo. Muestra de flanco ($\times 30$).

En muchos lugares, la hematita y el cuarzo, aparecen acompañados por pequeños nódulos limoníticos, y en aquellos afloramientos con topografía quebrada, aparecen, limonita recubriendo un mineral fibroso, pequeñas masas informes de serpentina (menos frecuentemente epidoto) o actinolita con hábito fibroso.

Al microscopio el bandeado es también muy claro, y aparece el apatito, que no se ve macroscópicamente, por su tamaño de grano. La serpentina, a veces acompañada de clorita, es sólo observable en láminas de 0.05 mm, desapareciendo cuando se llevan al espesor normal.

Tal cual es citado para el itabirito, aparece hematita incluida en cristales de cuarzo y viceversa, con desarrollo de cuarzo sacaroide y un bandeado notable en muestras de flancos de pliegues (microfoto N.º 1).

Según Dorr, J. van N. (1959) "el itabirito está compuesto de lechos bien estratificados de cuarzo sacaroide (originalmente sílex y jaspe) y hematita. Las láminas de cuarzo contienen alguna hematita y viceversa. El tamaño de los granos de cuarzo y hematita varían sistemáticamente con el grado de metamorfismo (James, 1955)... alcanzan más de 1 mm... y donde el grado de metamorfismo es menor, los granos son del orden de centésimos de milímetro".

CONCLUSIONES PETROGRÁFICAS

De lo expuesto, surge una diferencia notable entre la mineralogía de la roca superficial y aquella de las muestras de mena ferrífera a profundidad, libre de meteorización.

En superficie, el ferromagnesiano hallado es un anfíbol, que en la mayoría de los casos presenta alteración a serpentina y libera óxidos de hierro hidratados; estos productos han sido, en muchos casos, totalmente eliminados por lixiviación. El resultado es la obtención de una roca porosa, con densidad aparente muy inferior a la de la roca fresca de profundidad, y como corolario, un contenido en hierro (como óxidos) superior en promedio, al valor de profundidad.

De acuerdo sólo con las observaciones superficiales estamos tentados a identificar nuestra roca con el itabirito brasileño (corroborado por una visita a nuestros yacimientos del geólogo R. Reeves) ad-

mitiendo un grado de metamorfismo elevado, con gran desarrollo en el tamaño de grano y con formación de piroxeno como ferromagnesiano acompañante.

También tiene relación con las taconitas norteamericanas, ya que Gruner, J. W. (1946) establece: "los principales minerales en la taconita donde el metamorfismo es suave, como sucede en la mayor parte del área, son: calcita, chert, dolomita, greenalita, hematita, magnetita, minnesotaíta, siderita y stilpnomelano. En el extremo oriental, donde el metamorfismo por el gabro de Duluth fué efectivo, anfíbol, fayalita, magnetita y piroxeno son abundantes y los otros silicatos y siderita han desaparecido casi totalmente". Citado por Schwartz, G. M. (1956).

Un efecto térmico, aparentemente sin aporte, forma silicatos ferromagnesianos de elevado nivel energético, a partir de aquellos otros hidratados formados en superficie o por acción metamórfica de bajo grado.

De allí que hemos denominado, por ahora provisoriamente, *itabirito* a nuestra mena ferrífera, porque creemos que sea posible establecer, posteriormente, especialment con abundancia de datos químicos, una secuencia metamórfica para todos los chert y cuarcitas ferruginosas, en función de la naturaleza del metamorfismo sufrido.

FENOMENOS DE ALTERACION

Los datos extraídos de las perforaciones en el cerro Apretado, con una profundidad máxima de 220 m, han permitido observar detalladamente los procesos meteóricos que provocaron la transformación de una a otra de las rocas descritas.

Estos procesos consisten sintéticamente en:

a) uralitización del piroxeno, pasando, más cerca a la superficie, el anfíbol resultante a serpentina y óxidos férricos hidratados (con formación esporádica de clorita y epidoto). En muestras superficiales de zonas con pendiente pronunciada, el piroxeno (augitaeirina) pasa directamente a serpentina.

b) martitización de la magnetita.

c) oxidación (?) de la pirita y solubilización de apatito y esfeno.

El cuarzo ha permanecido inalterado, no mostrando ningún fenómeno de solubilización y movilización posterior.

URALITIZACIÓN

A profundidades mayores a los 90 m el único ferromagnesiano que aparece en la roca es la augita aegirínica.

En la zona entre 90 y 75 m aproximadamente, ésta, aparece rodeada de un anfíbol, mineral éste que constituye el único ferromagnesiano entre los 75 y 30-35 m de profundidad.

El *anfíbol* resultante de la hidratación y parcial lavado del piroxeno, presenta un hábito prismático a fibroso, alargado siempre según el eje cristalográfico *c*, y un débil pleocroísmo apenas visible en las secciones de espesor normal: $n_g =$ verde, $n_m =$ verde amarillento, $n_p =$ verde pálido.

Desde el punto de vista óptico presenta las siguientes propiedades:

$$n_m = 1.632 \pm 0.002$$

$$\text{birrefringencia} = 0.020$$

$$n_g \Delta c = 23^\circ$$

$$2V = -80^\circ \pm 3^\circ \text{ (Fedoroff, 4 determinaciones)}$$

Desde el punto de vista químico dicho anfíbol no presenta Al^{+++} y tiene muy poco Na^+ . La relación $MgO-FeO/CaO$ es de 2.05, siendo la de Na^+ a cationes bivalentes de 1 a 100.

La imposibilidad de separar por ahora las inclusiones cuarzosas, de los granos del mineral, nos ha impedido obtener la fórmula molecular exacta. Nuevos sondeos en zonas anfibólicas nos permitirán llegar a dicho resultado.

Siguiendo a Winchell, A. N. y Winchell, H (1951) este anfíbol corresponde a una *actinolita* con una relación $MgO/FeO = 2.6$.

Sus propiedades coinciden de manera aceptable con el término equivalente de la serie tremolita-ferrotremolita de dichos autores (página 433).

	Densidad	n_m	($-2V$)	$n_g \Delta c$	birrefringencia
Actinolita (Valentines)	3.1	1.632	$80^\circ \pm 3^\circ$	23°	0.020
Actinolita (Winchell)	3.12	1.64	80°	17°	0.023

Los datos químicos comparados entre la augitaaegirínica y la actinolita pueden verse en el cuadro siguiente:

	MgO-FeO/CaO	MgO/FeO	Na ₂ O/RO	MgO/CaO	H ₂ O(+)
Augitaaegirínica	1.40	3.85	0.025	1.12	0.7%
Actinolita	2.05	2.6	0.010	1.43	1.8%

De allí se pueden observar principalmente la hidratación y la pérdida del Na⁺, paralelamente con una eliminación relativa de Ca⁺⁺ mayor que Mg⁺⁺ y Fe⁺⁺. Se ha eliminado también el pequeño porcentaje de Al⁺⁺⁺ que contenía el piroxeno.

Petrográficamente, el proceso de alteración de un mineral en otro, queda claro por la distribución periférica del anfíbol, permaneciendo el corazón de piroxeno, como puede observarse en la microfotografía N.º 2.

Hay total ausencia de indicios microtectónicos que podrían haberse producido por este fenómeno, aún cuando existe cierta diferencia entre las densidades de ambos minerales: piroxeno: 3.2; anfíbol: 3.1.

El hecho podría tal vez, tener explicación por la extrema lentitud con que se produjo la hidratación, pero hace que en cantidad de muestras aisladas no se sospeche la procedencia del anfíbol.

El límite superior de la zona de piroxeno inalterado, hallado en base a los sondeos, y representado esquemáticamente en la figura N.º 3, sigue de manera llamativa la topografía actual, que por otro lado no ha variado aparentemente mucho desde el Devónico. El mismo paralelismo mantienen el límite de total alteración y aquel del pasaje de anfíbol a serpentina y limonita.

Los procesos clásicamente admitidos para provocar uralitización, sea retrometamorfismo, sean acciones hidrotermales, no son los que causan dicho proceso en nuestra formación.

La mena presenta intercalaciones "estériles" con contenido de 0 a 10% de Fe y que desde el punto de vista petrográfico son gneisses anfibólicos y anfibolitas (¿piroxenitas?), granitos a grano medio, a veces gnéissicos y granito pegmatítico anfibólico.

Estos últimos pueden concebirse en primera aproximación, formados por procesos de inyección, magmática o neumatolítica.

Lo importante a señalar es que la uralitización no se distribuye obedeciendo la actitud de estas bandas, sino que aparece en cualquier zona del itabirito a profundidades menores a 100 m, y no hay uralitización a profundidades mayores, aún en contacto con estos "filones".

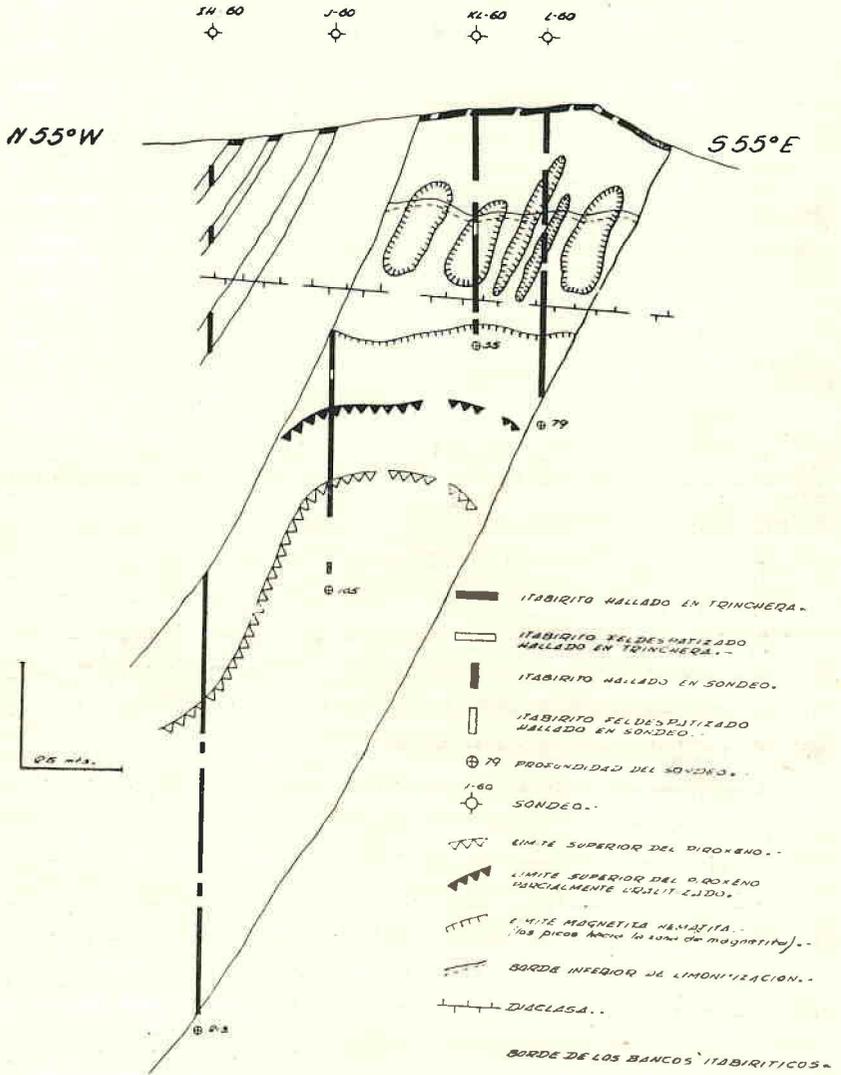
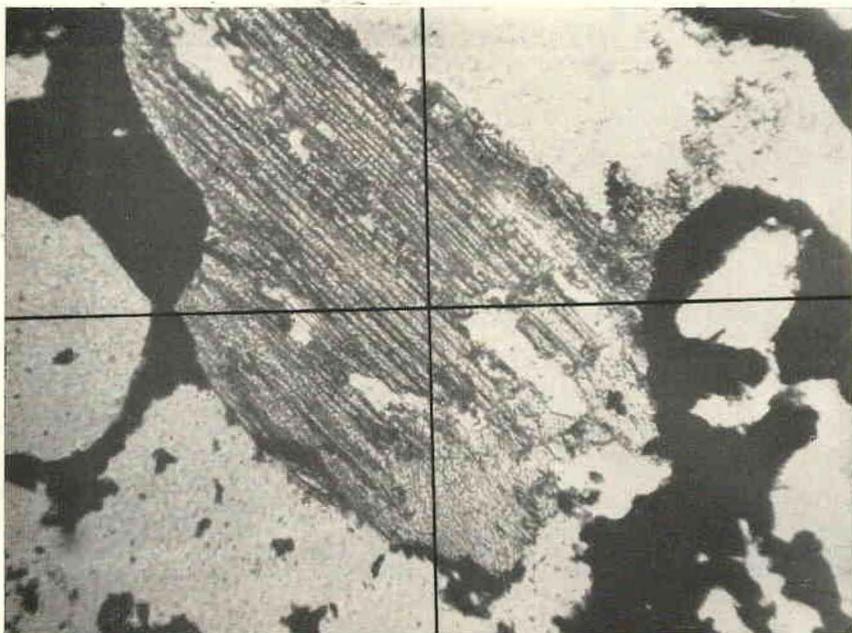


Fig. 3. — Esquema mineralógico de la mena ferrifera de Valentines.

La uralitización sigue, preferentemente, en cambio, zonas de fractura de la roca. Así por ejemplo, en el sondeo IH-60 (ver fig. 3) se ha encontrado exclusivamente anfíbol en una muestra de 135 m de profundidad, con poca recuperación de testigo, sinónimo de fracturación, mientras las muestras a 125 y 148 m, próximas a bandas graníticas, presentan el piroxeno inalterado.

En los cerros donde la pendiente actual es más pronunciada que en el cerro Apretado, es posible obtener roca piroxénica a profundidades menores. En el Cº Aurora, con 20% de pendiente, el piroxeno aparece a los 30 m de profundidad y en el Cº Morochos, con 35% de pendiente, aparece en superficie, a penas serpentizado, sin uralitización. Se puede calcular una pendiente media del 15% para el Cº Apretado, al que se refieren principalmente los datos de esta comunicación.

Las conclusiones a extraer de este proceso, por su distribución, es que se ha producido *uralitización meteórica*, actuando solamente aguas superficiales.

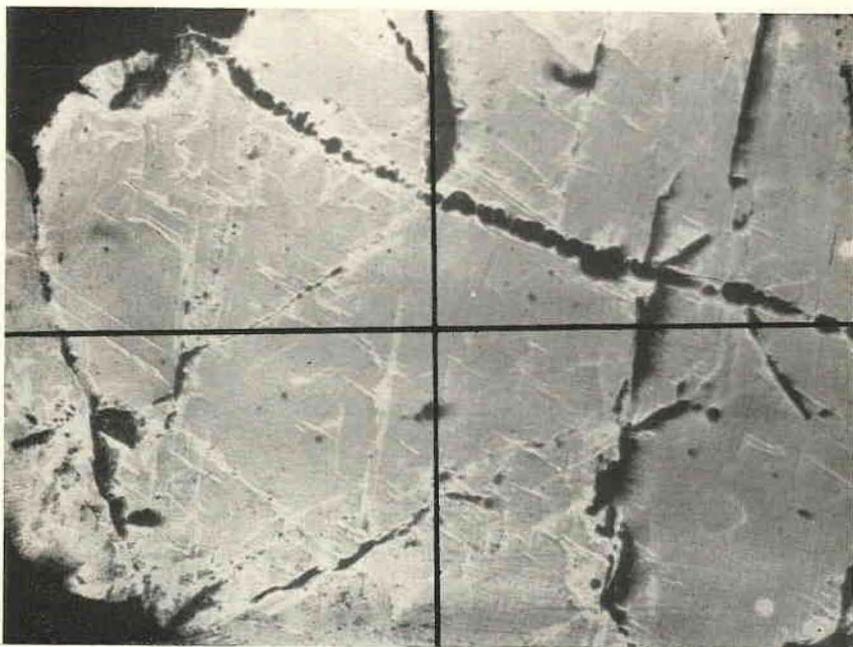


Microfoto 2. — Augitaegirina con borde de actinolita por meteorización (x 60).

Desconocemos la naturaleza química del agua aunque es posible suponer un pH próximo a 7, pues mediante su acción se ha disuelto la mayor parte del apatito en el casquete superficial pero no lo disuelve más cuando comienza la uralitización, y exhenta de oxígeno, pues no oxida la magnetita.

Paralelamente es posible admitir una circulación muy lenta. No hay datos muy precisos de la evolución tectónica de la zona en estudio, pero las arcosas devónicas que afloran en el Paso del Medio del Aº Las Palmas (Dpto. de Durazno), depositadas en borde marino, contienen fragmentos de itabirito en las zonas próximas a actuales paredones de esta roca. En consecuencia, desde entonces, tenemos nuestra formación ferrífera en superficie, sin topografía muy quebrada, pues no existen bloques en la arcosa.

Además, la roca es muy compacta y debe permitir sólo difícilmente la circulación de agua en su interior. La existencia de pe-



Microfoto 3. — Oxidación incipiente en magnetita. Se produce rodeando microfisuras y clivajes (x 180). Luz reflejada Nic. II.

queñas napas acuíferas en el C^o Apretado queda limitada a las intercalaciones cuarzo-feldespáticas entre bancos de itabirito. La porosidad de la roca fresca, calculada en función de densidad real y aparente, es nula.

MARTITIZACIÓN

La roca original, a base de magnetita y un tenor entre 2 y 4% de hematita respecto al total de óxidos de hierro, se vuelve exclusivamente hematítica hacia la superficie.

El fenómeno de oxidación de la magnetita es posible seguirlo paso a paso a medida que se disminuye en profundidad. Comienzan por oxidarse los bordes de las microfisuras y los clivajes (microfoto N.º 3). Luego se van interesando cada vez más los cristales, pasando por etapas en que todos los bordes de fisuras y clivajes están oxidados, luego la corona periférica de cada cristal (microfoto N.º 4), hasta que a profundidades menores a 15-20 m, no subsiste mag-



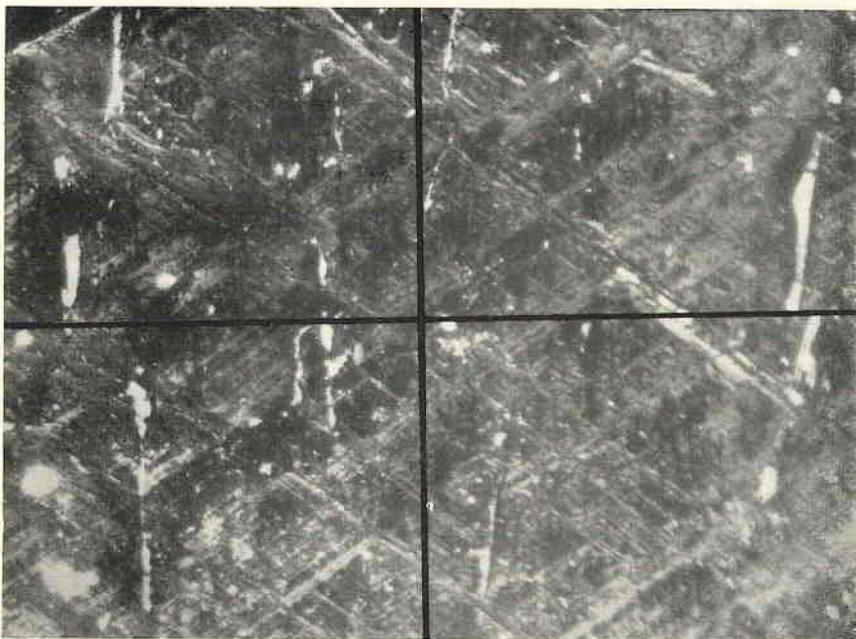
Microfoto 4. — Relictos magnetéticos en el corazón de cristales en vías de martitización total. (x 180). Luz reflejada Níc. II.

netita en la roca, excepto pequeños cristales automorfos englobados en cuarzo.

La estructura de la hematita de martitización resulta claramente distinguible de la de aquella originalmente formada en la roca.

Como consecuencia del reemplazo gradual realizado en el andamiaje magnetítico, la hematita que ha tenido este origen se presenta en finas bandas, paralelas a las caras de clivaje octaédrico, lo que desdibuja en luz reflejada, entre nícoles cruzados, triángulos concéntricos groseramente equiláteros o rombos, a raíz de iluminación y extención alternada de las sucesivas bandas (microfoto N.º 5).

Los cristales de hematita original, en forma de prismas irregulares, se presentan con total homogeneidad estructural y en consecuencia, toda la playa se extingue o se ilumina simultáneamente.



Microfoto 5. — Hematita de martitización, en luz reflejada, entre nícoles cruzados. ($\times 180$).

La distribución magnetita-hematita se ha seguido muy de cerca por su posible repercusión en la economía de los procesos de concentración de la mena y es expuesta en la figura N.º 3.

Allí se puede observar también que el proceso es exclusivamente supergénico, vinculado estrechamente a la posibilidad de circulación de aguas superficiales por la roca.

LIMONITIZACIÓN

El proceso de alteración de la magnetita se detiene en hematita. No hay fenómenos de hidratación paralelos a su oxidación.

En superficie y en los primeros 20-25 m de profundidad, así como en las zonas circundando diaclasas, aparece limonita en la roca, que resalta fácilmente por su color pardo amarillento, sobre el fondo oscuro del itabirito.

Macroscópicamente, estos óxidos de hierro hidratados se presentan haciendo pseudomorfosis en un mineral fibroso de hábito idéntico al del anfíbol resultante del proceso de uralitización. Al microscopio el fenómeno es evidente, pues sobre un soporte anfibólico se desarrollan serpentina y clorita intensamente impregnados de óxidos férricos de alto grado de hidratación.

Esto es observado sólo en láminas relativamente espesas, pues los minerales resultantes de la alteración del anfíbol, de grano muy fino, no presentan cohesión, y en láminas normales sólo aparecen relictos en los bordes de una playa saltada.

La distribución de la limonita, muestra que sólo es liberada en el proceso de destrucción del anfíbol y cuando éste se presenta fresco la roca no tiene óxidos de hierro hidratados.

OTROS FENÓMENOS

El esfeno que aparece en profundidad, no deja rastros de su existencia en superficie. Desconocemos cuál es el proceso de su destrucción, pero podría adaptarse a nuestra zona aquel encontrado por Goñi, J. C. (1957) en el "Batolito de Sauce" (Maldonado, Uruguay), pasando a un gel de óxido de titanio, que es posible de desaparecer al confeccionar las láminas, pues los análisis químicos muestran un

contenido constante en titanio, dentro de fluctuaciones no muy importantes.

El apatito dismuye en superficie por disolución, permaneciendo inatacados sólo aquellos granos englobados en cuarzo.

Respecto a la pirita, no hemos encontrado en ningún caso procesos parciales de oxidación periférica. En las muestras de los sondeos aparece totalmente fresca o no aparece. Su existencia está estrechamente ligada a la presencia de magnetita totalmente fresca, por lo que es posible suponer tanto un fenómeno de disolución, como uno de oxidación total mucho más fácil y rápido que el de la magnetita. Es más lógico este último tipo de proceso, marcando la desaparición de la pirita y el comienzo de oxidación de la magnetita el límite inferior alcanzado por las aguas aereadas.

ORDEN DE ALTERACIÓN

El estudio a distintas profundidades de nuestra mena en el cerro Apretado nos ha permitido esbozar el cuadro adjunto, donde se muestra la composición mineralógica y el orden de destructibilidad meteórica relativa entre nuestros minerales presentes.

Profundidad	Mineralogía					Mineral alterado
mayor a 90 m	P	M	Q	Py	Ap E	
90-70 m	P-A	M	Q	Py	Ap	Esfeno
70-50 m	A	M	Q	Py	Ap	Augita aegirínica
50-25 m	A	M-H	Q		Ap	Pirita
25 m superf.	S-L	H	Q		Ap	Magnetita-actinolita

Referencias: A = actinolita; Ap = apatito; E = esfeno; H = hematita; L = limonita; M = magnetita; P = augitaegirínica; Py = pirita; Q = cuarzo; S = serpentina

El apatito, según el cuadro, aparece hasta en las muestras superficiales, pero es el resultado de la protección ejercida por los cristales de cuarzo que lo engloban.

El estudio cuantitativo del contenido en fósforo en función de la profundidad, muestra un claro fenómeno de comienzo de alteración a la profundidad de 25 m, como puede verse en la gráfica expuesta en la figura N.º 4.

El orden de alteración sería pues:

- 1) esfeno-augitaegirina; 2) pirita-magnetita; 3) apatito-actinolita.

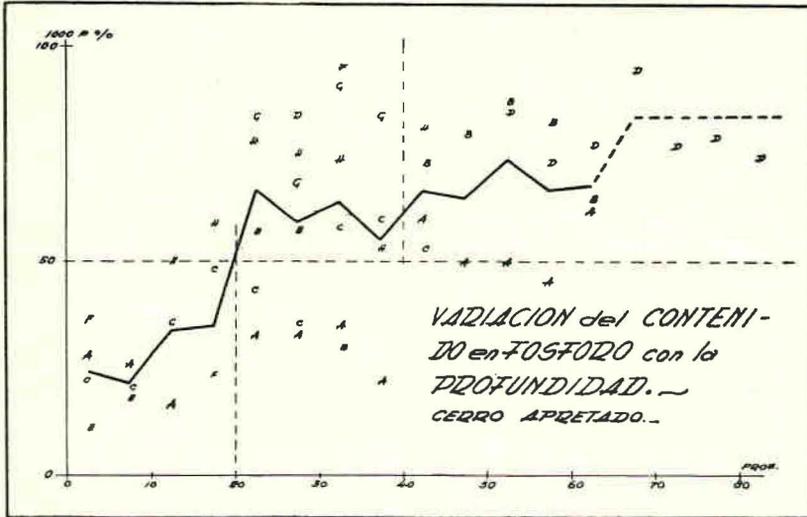


Fig. 4

CONCLUSIONES

La mena ferrífera de Valentines, consiste (probablemente) en un itabirito de alto grado de metamorfismo, con magnetita, cuarzo y augita aegirínica como principales minerales constituyentes. Dado que presenta mineralogía tan particular, será sometida a estudios petrológicos más detallados.

Aparece distribuída en los flancos de pliegues, en una zona sometida a intensos esfuerzos de flexión, con desarrollo de textura esquistosa que pasa a granoblástica en la nariz de cada pliegue.

La roca no afectada por procesos supergénicos presenta una densidad de 3.5, porosidad nula y un contenido medio de 37-38% de Fe.

La misma roca, sometida a meteorización, sufre oxidación de la magnetita y el piroxeno, pasa primero a actinolita y luego a una mezcla de limonita y serpentina, dando como resultado una roca de densidad aparente 3.2, porosidad elevada (hasta 15%) y un contenido medio en hierro de 39.5-40%.

La alteración de augitaaegirínica a actinolita es meteórica y no desarrolla microtensiones.

BIBLIOGRAFIA

- CAORSI, J. H. y GOÑI, J. C. (1959) *Informe interno del Instituto Geológico del Uruguay*.
- DORR, J. Van N. II (1959) *Esboço geológico do quadrilátero ferífero de Minas Gerais, Brasil* Publicación especial N.º 1, D.N.P.M.
- FERNANDEZ, A. (1961) *Informe interno del Instituto Geológico del Uruguay*.
- GOÑI, J. C. (1957) *Sur un phénomène d'alteration du sphène et les produits qui en résultent*. Bull. Soc. Franc. Minér. Crist., LXXX, 199-208.
- GOÑI, J. C. (1960) *Comunicación escrita al Director del Inst. Geol. del Uruguay*.
- GRUNER, J. W. (1946) *Mineralogy and Geology of the Mesabi Range*. Office of the Commissioner of Iron Range Resources and Rehabilitation.
- HESS, H. H. (1949) *Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes*, Part I. Am. Mineral, v. 34, 9-10, 621-666.
- JAMES, H. L. (1955) *Zones of regional metamorphism in the precambrian of Northern Michigan*. Bull. Geol. Soc. Am., v. 66, 12, part I.
- POSTEL, W. (1952) *Geology of Clinton County Magnetite District, N. Y.*; U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 237.
- SCHWARTZ, G. M. (1956) *Precambrian of Northeastern Minnesota*. Geol. Soc. Am., Guidebook Series, Minn., 1956.
- WINCHELL, A. N. and WHINCHELL, H. (1951) *Elements of Optical Mineralogy*. Part II. Wiley, N. Y.