

EL YACIMIENTO DE PIEDRA DE CORINDON (KORUNDFELS) DEL Cerro Redondo (Depto. de Minas) y el origen del esmeril

Por el Dr. K. WALTHER

Profesor de Mineralogía, Geología y Agrología del Instituto N. de Agronomía

(CONCLUSIÓN) (1)

3. INVESTIGACIÓN MICROSCÓPICA Y QUÍMICA DE LAS ROCAS

(Descripción abreviada)

a) *Filita*

Se presentan secciones delgadas de una roca muy grafitica, casi mate y débilmente arrugada, y de pizarras claras de intenso brillo sericítico, en parte bastante fuertemente arrugadas. La primera se compone especialmente de granos finos, a veces algo más gruesos, de cuarzo y de hojitas de una mica sericítica. En la fractura transversal (Querbruch) se observa el aspecto conocido de una filita de textura fruncida (gefältelt). Formando ángulo agudo con las cintas sericíticas, que indican la estratificación y se mezclan con grandes cantidades de polvo grafitico, se observan zonas angostas, más o menos paralelas que deben ser consideradas como fisuras, pues están rellenas junto a la mica de granos de cuarzo articulados íntimamente unos con otros, de formación secundaria.

En estas vetas finas se ha efectuado también probablemente la penetración de *turmalina*, que se observa en algunos cristallitos siempre idiomorfos, de coloración débil, fácilmente reconocibles por el carácter de su dicroismo. Además se observa un poco de rutilo y raramente un mineral prismático, probablemente hornbléndico, transformado en un cúmulo de cuarzo y de clinzoisita.

El brillo más vivo de la otra parte de las rocas en cuestión se explica fácilmente por el contenido de hojas sericíticas más gran-

des y de orientación paralela. Como dice también K. WILLMANN (27, pág. 14) puede aumentar tanto la cantidad de este mineral, que el cuarzo desaparece completamente.

Antes de terminar este capítulo debe hacerse notar que se trata, como ya se indicó arriba, en el pequeño yacimiento aislado situado al lado de la filita silificada, en verdad de una región más o menos vitrificada de la roca. La sericita original, o se ha absorbido por fusión, o se ha concentrado en algunos lugares. Junto con la vitrificación se produjo un hinchamiento, al que se debe la estructura porosa de la roca.

El análisis de una filita muy oscura, poco fruncida, dió el resultado siguiente :

SiO ₂	63,46
TiO ₂	0,89
Al ₂ O ₃	21,79
Fe ₂ O ₃	2,32
CaO	—
MgO	0,62
K ₂ O	5,14
Na ₂ O	1,64
H ₂ O bajo 105°	0,06
Pérdida al rojo (C,H ₂ O)	4,71
Suma	100,63 %

b) *Piedra córnea cordierítica esquistosa*
(*Kordieritschieferhornfels*)

Como ya se dijo, el carácter exterior de este tipo es el aumento de compacidad. Una parte de estas rocas fué clasificada por A. FLOSSDORF como piedra de corindón esquistosa (Schiefriger Korundfels), y es posible que contenga corindón en las formaciones que pasan a la roca de la cumbre.

En las secciones delgadas correspondientes, sea en los ejemplares de la colección FLOSSDORF, sea en las muestras recogidas por mí, no se encuentra seguramente corindón.

El mineral que caracteriza el cuadro microscópico de la roca, es la *cordierita*.

Se halla en granos incoloros, de contorno completamente irregular como un cemento, en unión íntima con las hojitas de mica, dispuestas generalmente con irregularidad. Por ser incolora, por su falta de pleocroismo y sus colores de interferencia bajos (raramen-

te superior al blanco de primer orden), se confunde fácilmente el mineral con cuarzo. Pero el aspecto, en luz convergente polarizada, de granos pequeños con los colores de interferencia más bajos, indica que se trata de un mineral ópticamente biáxico y de carácter negativo. Como prueba fuera de los cuadros conoscópicos, fácilmente obtenibles, sirvió también la presencia de un pequeño resto de macla polisintética, resto que, si bien algo torcido, se presenta, sin embargo, bien claro (véase la fig. 9) ⁽¹⁾. En la figura se ve también la conocida interposición de granos pequeños, en nuestro caso paralela a la cara del prisma. La riqueza en dichas inclusiones es muy a menudo sumamente grande. También se observa en la figura el principio de la transformación de la cordierita en productos micáceos; los colores de interferencia en aquellos lugares han llegado a su mínimum (gris oscuro), mientras que en el sector opuesto son relativamente altos y casi llegan al violeta de primer orden.

Tomando en cuenta la cantidad de cordierita en estas secciones delgadas y en las pertenecientes a los grupos de rocas que se van a describir más adelante (en *c*) y *d*), es de suponer que una parte de la mica — y justamente la que se caracteriza por doble refracción baja — se haya formado del mineral en cuestión. Esta suposición es tanto más probable cuanto que la clorofilita aparece muy a menudo en hojitas estriadas en maclas.

En fin, es significativo el aumento del contenido de *rutilo*, al contrario de las rocas del grupo *a*), y la manera de disminuir los componentes oscuros. Estos, como se sabe de yacimientos análogos, están en relación íntima con el rutilo, de manera que éste, en partes más claras de la roca, se distribuye en cristales pequeños p. p. agujiformes y en fragmentos, igualmente en toda la dirección, pero poco espesos, mientras que en partes oscuras se hallan en individuos más grandes y muy amontonados. Así el pigmento de las rocas en cuestión y de las que describiremos en *d*) consiste sólo en su menor parte de grafito y de ilmenita; se trata, al contrario, de grandes cantidades de rutilo mezclado y teñido por productos grafiticos.

La disposición del pigmento rutilico-grafítico-ilmenítico indica en parte la estratificación original de la roca, en parte se efectúa sin ajustarse a regla alguna. En fin, se observa una reducción del pigmento, que deja pasar la estructura de la roca a la adoqui-

(1) Dibujado con el aparato de ABBE con aumento de 375 veces.

noidea. Aparecen, pues, zonas o manchas aisladas o acumuladas, donde el pigmento ofrece, visto con el microscopio, una disposición en forma de células. El contenido de éstas todavía no es distinto del de los alrededores y consiste en una mezcla íntima de sericita y cordierita.

Como mineral importante para revelar el origen de nuestro yacimiento hay que citar la *turmalina*. Su aparición está ligada a las acumulaciones del pigmento oscuro, es decir, al teatro inicial de operación del metamorfosis. Especialmente rico se revela el yacimiento pequeño al lado E del camino a Pan de Azúcar, donde se puede hablar de una verdadera túrmalinización.

c) *Brecha de piedra córnea esquistosa cordierítica*
(*Kordieritschieferhornfels - Brekzie*)

K. WILLMANN (27, pág. 14) llama esta roca densa «brecha sericítica» e indica su riqueza en turmalina. No advirtió el contenido de cordierita. La impregnación con turmalina pasa por los fragmentos extraños y por el cemento; es, pues, más moderna que la formación de brecha. Los primeros están de acuerdo con el material de la piedra córnea esquistosa que aflora en la vecindad.

d) *Piedra de corindón*
(*Korundfels*)

Entre los representantes de este grupo que tienen un carácter completamente compacto, se distinguen, según el examen microscópico, dos tipos: el primero sigue a las rocas descritas en b) y c) y deja ver todavía restos más o menos importantes de la mezcla original cordierítico-sericítica, mientras el otro, que presenta el grado de metamorfosis más alto, se compone, fuera del pigmento indicado, puramente de corindón.

En el primer caso la disposición del pigmento es la ya indicada; fajas irregulares que muchas veces presentan una disposición celular de los componentes, atraviesan en dirección más o menos paralela la roca que, dentro como fuera de las células, tiene la misma composición. Una parte de su contenido o, en otros lugares, estrías algo largas, entre las fajas oscuras, o finalmente, partes irre-

gulares de la roca, se han sustituido en forma de ojos (comp. 8, pág. 33) por un mineral más refractante que la mezcla coriderítico-sericítica, el corindón. Le falta en general contorno cristalográfico; su aspecto muchas veces turbio, es, como se va a demostrar más abajo, la consecuencia de la transformación (fig. 10 y 11). En los casos aislados donde el mineral, a veces de color gris azulado claro, presenta caras cristalográficas, estas pertenecen a prismáticas y las últimas a romboédricas. Paralelamente a las últimas aparecen fisuras parecidas a exfoliación (fig. 12).

Pero en *el otro caso*, donde la mezcla cordierítico-sericítica se ha sustituido más o menos completamente por corindón, aparece una disposición de los granos de este mineral, que se puede llamar irregularmente adoquiniforme (fig. 13). Granos de corindón — o los productos, resultados de su descomposición — de tamaño no distinto, contorno irregular y mal definido, se han puesto íntimamente uno al lado del otro. Los minerales oscuros más o menos acumulados de que ya hemos hablado, circundan a cada grano y desempeñan así el papel de un cemento.

Otros minerales retroceden en el « Korundfels ». El color gris oscuro de la roca es debido a pequeñas cantidades de componentes grafiticos; se sabe cuán grande es la propiedad colorante del carbono. Haciendo contraste con el rol del rutilo en el pigmento, no es de importancia el contenido de titanio F. KILLIG (5, pag. 29) observa que hay tendencia a calcular demasiado elevada la cantidad del mineral por su alta refracción y doble refracción. El contenido de Fe, que habría que definir como Fe_2O_3 ⁽¹⁾, es más bajo en comparación con el valor correspondiente del análisis del esmeril. Por otra parte, la roca es relativamente rica en SiO_2 y su peso específico tiene por eso un valor inferior al del esmeril de Naxos. Examinada al microscopio sorprende el contenido de CaO, pero el contenido reducido de MgO confirma la falta casi completa de cordierita. Por las causas expuestas y descontando un contenido reducido a favor de la Kayserita (véase más adelante) debe encontrarse el dióxido de silicio como cuarzo, un mineral que escapa a la investigación microscópica (véase más adelante nota al pie).

SiO_2	22,69
TiO_2	2,88
Al_2O_3	61,36

(1) A causa de la imposibilidad de abrir la roca con HF y H_2SO_4 .

Fe ₂ O ₃	1,12
Cr ₂ O ₃	n. d.
CaO	3,39
MgO	1,66
K ₂ O)	3,02
Na ₂ O)	
H ₂ O	0,12
Pérdida al rojo	3,70
	99,89
Peso específico	3,30

e) *Kayserita, un nuevo mineral*

Al describirlo, empezaremos por los casos raros citados más arriba, donde se presenta bajo el microscopio en un cristal de corindón una divisibilidad según una cara del romboedro. Siguiendo ésta y fisuras irregulares, desaparece la coloración original gris-azulada clara del mineral y se reduce a manchas aisladas, mientras que se conserva todavía la doble refracción baja. Simultáneamente con su aumento se originan paralelamente a la cara del romboedro planos de exfoliación más o menos cortantes, paralelamente a los cuales extingue el mineral observado entre nícoles cruzados. La figura 14 representa el mismo cristal de la figura 12, visto con mayor aumento y entre nícoles cruzados. En la reproducción fotográfica el cristal se orientó de manera que la exfoliación según R es paralela al hilo longitudinal ⁽¹⁾ de la cruz. La extinción del cristal es muy irregular y a veces algo incompleta. En el cuadrante derecho inferior, el corindón, conservando parcialmente su color original gris-azulado, es casi isotropo. Está salpicado hacia su margen inferior de manchas relumbrantes en colores de interferencia de tercer o cuarto orden, manchas que corresponden a las partes blancas de la fotografía. El mismo cambio de partes de doble refracción más baja y fuerte lo presenta el trozo trapezoidal por el cual pasa el hilo vertical. Mas se observa aquí que las partes relumbrantes extinguen al hacer girar la mesa del microscopio, junto con una faja del mismo mineral, que ocupa la esquina derecha inferior del trozo trapezoidal que pasa del cuadrante superior izquierdo al inferior izquierdo. Al mismo

(1) Visto con el microscopio de delante atrás.

tiempo el borde presenta una exfoliación bien visible, según numerosas líneas continuas; éstas tienen la misma dirección según R y con ellas extingue el mineral nuevamente formado. Sus caracteres son los siguientes:

Exfoliación mica oídea perfecta según una dirección de exfoliación que se manifiesta en forma de numerosas líneas fuertes continuas en todos los cortes que no sean paralelos a la exfoliación. Las hojitas de exfoliación son quebradizas (spröd). En ellas se observan fisuras finas, espesas, que corresponden a una exfoliación menos perfecta, la cual forma con la primera un ángulo bastante grande. Finalmente resulta una divisibilidad según algunas fisuras a veces curvas, no continuas, que forman con las nombradas en segundo lugar un ángulo de 65-67°. Dureza=5-6.

Refracción y doble refracción altas. Empleando filtro amarillo de luz, resultaron valores comprendidos entre 1,74 (ioduro de metileno) y 1,68 (mezcla de monobromonaftalina y ioduro de metileno 1:1), lo que como máximo para $\gamma - \alpha$ daría 0,06. Probablemente la doble refracción es algo más baja y corresponde más o menos a la del epidoto ($\gamma - \alpha = 0,055$). El grado perfecto de exfoliación del mineral permite constatar en el borde de preparados de espesor normal colores de interferencia desde el gris de primer orden hasta el verde claro de mar (Blassmeergrün) de cuarto orden.

Mientras que las hojitas de la exfoliación principal extinguen según la segunda exfoliación y perpendicularmente a ella, presentan secciones que se han dirigido, formando ángulo con la exfoliación principal y que reflejan colores de interferencia pertenecientes en general al tercer orden, en parte extinción oblicua (hasta 46° con las fisuras), en parte recta. Como ya era de esperar, por el grado de la doble refracción en las hojitas de la exfoliación principal, su dirección, el pinacóide longitudinal, representa el plano de los ejes ópticos. En verdad las secciones perpendiculares a dicho plano — por consiguiente de extinción recta, según el trazo de la exfoliación, y con los colores de interferencia más bajos — presentan siempre la salida casi recta de la primera bisectriz con el ángulo de los ejes correspondiente muy grande ⁽¹⁾. $v > \rho$.

La transformación del mineral, que, atento a lo expuesto, pertenece al sistema monoclinico, se efectúa, según parece, con la misma facilidad que la del corindón original. Supongo, como hay

(1) Visible sólo con aplicación de inmersión.

que creer por la composición química del mineral, que origina por inmigración de substancias extrañas. El análisis del mineral dió los siguientes valores:

SiO ₂	3,13
Al ₂ O ₃	81,24
Fe ₂ O ₃	1,01
MgO	0,34
H ₂ O bajo 105°	0,05
Pérdida al rojo	14,70
Suma	100,47 %

Según el carácter del mineral, calentándolo en el tubo (decrepita fuertemente y se dispersa en escamitas blancas brillantes) se podría creer que se trata de diaspor, pues también los datos cristalográficos revelan gran afinidad. El análisis químico indica una identidad completa con dicho mineral rómbico ⁽¹⁾. Resulta, pues, que la composición $Al_2O_3 \cdot H_2O = HAlO_2$ es dimorfa, rómbica como diaspor y monoclinica como Kayserita, nombre que me permito proponer en honor de mi maestro, el profesor EMANUEL KAYSER, de Marburg (Alemania).

f) Filita silificada

Las etapas de silificación descritas arriba de acuerdo con su aspecto macroscópico, se caracterizan más exactamente en el cuadro microscópico.

El análisis químico dió:

SiO ₂	70,30
TiO ₂	0,49
Al ₂ O ₃	19,25
Fe ₂ O ₃	2,07
CaO	0,60
MgO	2,80
K ₂ O	0,45
Na ₂ O	2,22
H ₂ O bajo 105°	0,03
Pérdida al rojo	1,58
Suma	99,79 %

(1) El contenido en Fe₂O₃ accesorio llega en el diaspor a veces hasta 7 %; el de SiO₂ a 4 % (HINTZE, Handbuch der Mineralogie I, pág. 1976).

Comparando este análisis con el de la página 2, salta a la vista en primer lugar el aumento en el contenido de SiO_2 . Además predomina aquí Na sobre K, mientras que en el otro caso se manifiesta la relación generalmente característica para sedimentos arcillosos: $\text{K} > \text{Na}$.

Según el exámen microscópico debe definirse el yacimiento como una zona de roca filítica, metamorfoseada por afluencia de soluciones silíceas.

Hay que suponer dichas soluciones provenientes de una masa eruptiva oculta en la profundidad, pues, como se va a explicar más adelante, es necesario definir como un lamprófido la roca diabasoidea filoniforme acompañada de vetas de cuarzo. Por otra parte revela la investigación microscópica de la roca indicada en la página 73 de la primera parte de esta publicación, adyacente a la « diabasa » que se trata aquí de filita, transformada por metamorfosis de contacto en un producto parecido a la piedra córnea, fenómeno que demuestra la influencia que es capaz de ejercer la roca eruptiva.

g) *Mica potásica*

Encabezamos este capítulo con el resultado del análisis:

SiO_2	44,65
TiO_2	n. d.
Al_2O_3	39,33
Fe_2O_3	0,60
CaO	0,23
MgO	0,15
K_2O	7,64
Na_2O	2,65
H_2O bajo 150°	0,01
Pérdida al rojo	5,24
Suma	100,50 %

Si comparamos estas cantidades con la composición de 120 moscovitas, como indica C. HINTZE en su « Handbuch der Mineralogie », II, pág. 634, sorprende el contenido elevado de Al_2O_3 (39,33 %) de nuestro mineral. Excepción hecha de nueve análisis, queda en aquellas la cantidad del sesquióxido bajo 38 %. De estos nueve análisis seis tienen un contenido de dicho producto que

es mayor de 38.72 %, y todos éstos — lo que es notable — provienen de los yacimientos de esmeril de Gunnuch Dagh y de Unionville. Dicha mica se designó antes con el nombre de «Eufilita», mineral que TSCHERMAK define como mezcla de paragonita, moscovita y un poco de margarita. Supongo que estas micas están unidas, en relación con su origen, con corindón y se asemejan a los minerales llamados Efesita y Lesleyita, provenientes de los dos mismos yacimientos mencionados (2, pág. 387).

Me parecen de importancia dichas relaciones para la interpretación de las vetas micáceas del Cerro Redondo.

*h) Roca filoniforme lamprofidica, parecida al
«Grünstein»*

Esta roca eruptiva más cercana al Cerro Redondo es, sin duda, análoga a los lamprófidos «grünsteinoideos» que cita K. WILLMANN (27, pág. 16) y como éstos, no puede ser bien definida a causa de su descomposición avanzada. La roca se compone de hornblenda verde, transformada en gran parte en clinzoisita y de ilmenita con borde leucoxénico en una masa fundamental — si es permitido expresarse así, teniendo en cuenta la estructura hipidiomorfa — de plagioclasa prismática.

II. EL ORIGEN DE LOS YACIMIENTOS URUGUAYOS

Ya se dijo más arriba que el material de las partes más altas del Cerro Redondo se caracteriza por su riqueza menor en mineral de hierro, es decir, del componente que desempeña el segundo papel importante en el concepto de «esmeril». Se trata, pues, en nuestro caso y dicho con más propiedad, no de esmeril, sino de un «Korundfels» inserto entre pizarras cristalinas. El estudio presente tiene que limitarse, pues, a hallar una explicación de cómo se pudieron formar semejantes cantidades de óxido de aluminio dentro de rocas sedimentogéneas. Los tres casos siguientes son posibles:

- 1) Formación por diferenciación directa magmática.
- 2) Formación por dinamometamorfosis y metamorfosis regional.
- 3) Formación por metamorfosis de contacto o de contacto pneumatolítico.

1) Corindón como diferenciación magmática.

Considerando la roca tan compacta de la cumbre y el contenido de cordierita en la piedra córnea esquistosa circundante, se podría creer en una roca eruptiva, si recordamos que J. MOROZEWICZ (18, pág. 221) atribuye la presencia de alúmina libre dentro de rocas aluminosilicatadas eruptivas ácidas y básicas a una diferenciación de magmas sobresaturadas en dicha sustancia. Habría que figurarse en nuestro caso dicha sobresaturación como derivada de la filita perforada. Pero entonces habría que hallar en el «Korundfels» los minerales, que son características para la roca eruptiva, penetrada por fusión, en primer lugar feldespato y miembros de los grupos de piróxeno y anfíbol. No se observa nada de esto.

¿No sería entonces posible que cierto extracto magmático, especialmente eficaz, haya producido igual efecto que el mismo magma?

2) Formación por dinamometamorfosis y metamorfosis regional.

Discutiendo el punto: si no fuera posible que fuerzas mecánicas y la alta temperatura producida por un descenso de una zona de la corteza terrestre a grandes profundidades, hubieran transformado la roca original, especialmente rica en alúmina, en «Korundfels», debemos recordarnos lo dicho al principio de este estudio. Debe casi rechazarse, si no se quiere aducir construcciones tectónicas arriesgadas, que una zona de pocos metros de espesor incluida entre pizarras cristalinas de la zona de metamorfosis periférica se hubiera hundido justamente donde predominó en alto grado la alúmina (1), de manera que se pudo formar una roca

(1) Es decir, un contenido ya originariamente alto, ya elevado debido a la formación de bauxita. Como ya observa PAPAVALIOU (20, pág. 99) respecto de los yacimientos griegos, razonando como arriba, los yacimientos de esmeril tendrían que ser más abundantes, mientras que, en verdad, forman sólo yacimientos aislados (véase también más adelante).

cordierítica y un « Korundfels », tipos que uno esperaría encontrar en la zona de contacto más vecina a un granito. Además ya se mencionó que no se observa de ninguna manera en el Cerro Redondo y en su vecindad un aumento de la influencia tectónica, y se fijó la atención en los « espejos » que se presentan con preferencia en las diaclasas de la roca rellenas de Kayserita. Es, pues, con seguridad, dicho grupo de fenómenos tectónicos de edad menor que la formación del corindón.

3) *Formación por metamorfosis de contacto y de contacto pneumatolítico.*

Habiendo desechado la idea de una formación por dinamometamorfosis regional de nuestro yacimiento, se presenta ahora la cuestión siguiente: si no se encuentran en aquellos fenómenos que faltan en otras formaciones análogas, de manera que sea posible sostener el origen indicado en el epígrafe de este capítulo. Se trata en nuestro caso de la aparición de un mineral de contacto típico, de la cordierita, compañero inseparable del corindón. En el yacimiento sajón se puede mencionar solo el cloritóide como « mineral característico para rocas regionalmetamorfoseadas » (5, pág. 51); las formaciones de Naxos se caracterizan, al lado de la turmalina, por tres minerales — distena, silimanita, cloritóide — a los cuales PAPAVALIOU (1) adjudica un origen en parte pneumatolítico, en parte contactometamórfico, mientras supone que ciertos componentes, como estaurólita, espinela, a menudo están relacionados con fuerzas mecánicas (l. c. pág. 107). En lo que concierne, en fin, a los yacimientos del Asia Menor, no investigados por R. KRÄMER en la naturaleza, al clasificar dicho autor el esmeril como bauxita contactometamorfoseada, se apoya especialmente en variedades estructurales. Entre los minerales accesorios más importantes se mencionan cloritóide, rutilo, estaurótida y espinela.

En contraste con este yacimiento, se hace constatar con seguridad en el actual, un aumento de la transformación desde la filita original en filita cordierítica, luego en piedra esquistosa cordierítica (Kordieritschieferhornfels) hasta « Korundfels » cordierítico y últimamente Korundfels. La presencia del corindón en las zo-

(1) 20, pág. 106; siento no haber podido consultar la importante publicación de Tschermak sobre el esmeril de Naxos.

nas de contacto de rocas intrusivas no es muy abundante. Recientemente ha descrito W. MAIER (14 y 15) un yacimiento semejante de los alrededores de Barcelona, en el que se trata del contacto entre granito y pizarras arcillosas cámbrico-silúricas. Se observa la serie de: Pizarra arcillosa - P. a. de nódulos (Knotenschiefer) - miçaesquistos nodulosos (Knotenglimmerschiefer) y piedra córnea cordierítica o cordierítico-coríndica (Kordierit-resp. Kordieritkorundhornfels) (1). Sorprende en estas piedras córneas y las de la cercanía, la presencia de albita, zinvaldita y casiterita.

Dicha paragénesis de minerales prueba que la formación del corindón no pertenece a los fenómenos « protocontactomagmáticos » sino a los « protocontactopneumatolíticos » de J. KÖNIGSBERGER (2). Así se explica que al transformar artificialmente alúmina en corindón, empleando sólo la acción del calor, se necesitan temperaturas muy altas (3). Con razón, pues, supone H. ROSENBUSCH que el corindón de inclusiones leptinolíticas del Dep. de Finistère pertenece a los productos de metamorfosis de contacto pneumatolítico. Compara dicho yacimiento con el contacto diorítico de Klausen, donde se halla el corindón junto con mucha turmalina y relacionado con fenómenos tectónicos (4).

Al hablar de los procedimientos recién citados viene a la memoria la dependencia de productos contacto-pneumatolíticos de hendiduras y diaclasas y se encuentra una notable analogía entre el « Turmalinhornfels » del Auersberg (Sajonia) en la zona de contacto del granito turmalínico del Eibenstock (5), y nuestro pequeño yacimiento filoniforme de « Turmalin-Kordieritschieferhornfels » (piedra córnea esquistosa turmalínico-cordierítica) al E del camino a Pan de Azúcar. Y además — para acrecentar la analogía entre los yacimientos uruguayos y sajones — observamos en nuestro caso, como la roca turmalinizada después de la formación del « Kordieritfels », se manifiesta en una parte como brecha. Se trata aquí de una *brecha de fricción*, es decir de una cuña de roca triturada, apretada hacia arriba por un apófisis filoniforme de la roca eruptiva escondida en la profundidad. Salta a la vista la

(1) Es de lamentar que no se dé un análisis de esta última roca; me falta en general un análisis de comparación.

(2) C. DOELTER, Handbuch der Min. Chemie, II, 1, pág. 39).

(3) 2250° en la estufa eléctrica de Moisson.

(4) Mikr. Physiogr. II, 1, 1907, pág. 111 y 309.

(5) Pues a este pertenece también el yacimiento de corindón del Ochsenkopf.

analogía con el « Topasbrockenfels » (piedra de brecha topásica) del Schneckenstein (macizo del Eibenstock). H. ROSENBUSCH⁽¹⁾ define esta formación como un resto de un filón de brecha de fricción que quedó en su posición anterior. (stehengebliebener Rest eines Ganges von Reibungsbrekzie).

Si bien en el Cerro Redondo la turmalinización no tiene la misma importancia que en la pequeña isla rocosa al E del camino mencionado, se pudo demostrar, no obstante, como el mineral en el « Kordieritschieferhornfels » se ha abierto camino a expensas de la cordierita. Habría, pues, que esperar en el « Korundfels », como producto más atacado por el metamorfosis pneumatolítico, un alto grado de turmalina, lo que no corresponde a la verdad. En su lugar se observa un carácter negativo, es decir, una fuerte disminución del SiO₂, producto que está representado en la filita por cuarzo y sericita y en el « Kordieritschieferhornfels » por silicato aluminico magnésico, p. p. también acompañado de sericita y un poco de cuarzo⁽²⁾.

La edad de estos minerales es más alta que la de la turmalina y del corindón. *La formación del último no pudo haberse efectuado de otra manera que por un hendimiento (disociación) de dichos silicatos* y su sustitución por corindón⁽³⁾, fenómeno que no corresponde a la naturaleza de metamorfosis de contacto verdadero⁽⁴⁾. La presencia abundante de turmalina y la fuerte disminución del dióxido de silicio indican los agentes que han efectuado el hendimiento, esto es, fluoruros volátiles, tal vez en presencia de ácido sulfúrico. Aunque también sin el último producto — que agrega el químico para *abrir* (aufschliessen) completamente los silicatos y para transformar al mismo tiempo las bases en los sulfatos correspondientes — se realiza, en nuestro caso, la disociación, porque seguramente el fluoruro estaba bajo presión elevada

(1) Mikr. Physiographie II, 7, pág. 125.

(2) La misma disminución del contenido de SiO₂ se observa también en las piedras córneas turmaliníferas del Monte Tibidabo. W. MAIER, advertido sobre el paragénesis poco verosímil de cuarzo - corindón, clasifica el anteriormente supuesto cuarzo, en su segunda publicación por parte como albita, por parte como cordierita (15, pág. 26). Sin embargo, como va a demostrarse en seguida, no me parece inverosímil la presencia de yacimientos de « Korundfels » cuarcíferos como estado transitorio. También F. KILLIE menciona cuarzo al lado del corindón (5, pág. 48).

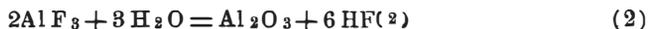
(3) De esta manera hay que explicar también la estructura de ojos, fig. 10 y 11.

(4) Su carácter distintivo, es, pues, el *synthesis* (Aufbau) de las substancias más adoptadas al cambio de las condiciones químico-físicas.

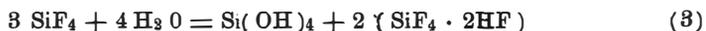
Mientras, pues, por un lado se transformó el aluminio en fluoruro, se volatilizó el ácido silícico según la ecuación:



por otro lado se originó el agua necesaria para la formación del Al_2O_3 :



Las dos ecuaciones son reversibles; de un exceso primordial del fluoruro se formaron en (1) cantidades ya notables de fluoruro de silicio, que en partes húmedas, donde no se volatilizó, originó nuevas cantidades de ácido fluorhídrico:



De la misma manera la ecuación (2) tanto va a desplazarse de derecha a izquierda hasta que haya desaparecido un exceso de fluoruro volátil (HF , NH_4F , SiF_4) y se vuelva el movimiento de izquierda a derecha. De esta manera, como es sabido, ya HAUTMŒUILLE logró obtener cristales de corindón al dirigir HF sobre alúmina fuertemente calentada, y W. BRUHNS por tratamiento de alúmina con agua mezclada con pequeñas cantidades de NH_4F en tubo cerrado.

Pues bien; mientras que para el « Korundfels » del Cerro Redondo rechazamos una formación puramente contacto-metamórfica, dicho origen debe ser mantenido respecto de la cordierita (véase más abajo). La zona de esquisto córneo, caracterizado por la presencia de esta, ocupa, como sabemos por la figura 5, un área incomparablemente mayor que el « Korundfels ». Mientras que éste aflora sólo en las partes más elevadas del cerro, el « Schieferhornfels », se extiende hasta la pequeña excavación al pie E y tal vez más lejos aún. Debe tratarse, pues, de un macizo de roca intrusiva de bastante extensión, oculta en una profundidad relativamente pequeña. Al dar esta interpretación, procurando descubrir la causa del metamorfosis, no lo hemos hecho violentándonos, pues, obsérvase gran extensión de granito en los alrededores del Cerro Redondo, y además hemos visto como aflora al pie septen-

(1) Puesto aquí en lugar de un fluoruro volátil.

(2) AlF_3 no es atacado por el agua, bajo temperaturas normales; dadas las altas temperaturas de las fumarolas de Cl y F (los portadores del estaño de Sajonia!), el agua se encuentra sobrecalentada y es, pues, de la mayor eficacia.

trional un producto de diferenciación melanócrata del granito en la forma de una filón parecido al « Grünstein ».

Podría causar extrañeza que se encuentren uno al lado de otro a poca distancia, entre las partes más altas del Cerro Redondo y de su base, rocas sumamente metamorfoseadas, la piedra córnea esquistosa cordierítica (Kordieritschieferhornfels); y filita no metamorfoseada, siendo necesario para la cordierita gran proximidad de la roca intrusiva. Además parece difícil de comprender por que la filita pobre en magnesia se transformó justamente en la roca mencionada. En la publicación de W. MAIER (14, pág. 52), tanto la roca no metamorfoseada como la roca cordierítica de la falda Sud del Monte Tibidabo, acusan más o menos el mismo contenido de MgO. Es de lamentar que se sepa tan poco sobre la producción artificial de la cordierita, pero creo no debe desecharse el caso, tomando en cuenta la analogía entre la formación de corindón y cordierita, que también el último mineral, donde no proviene del magma, deba su origen a fenómenos pneumatolíticos, es decir al acceso de combinaciones volátiles de magnesio (1).

Como pruebas del expresado carácter de formación del corindón pueden citarse el contenido de turmalina y el ascenso de soluciones silíceas (2) al lado de una hendidura, que en su parte meridional se dirige en sentido vertical hacia abajo y se inclina más al Norte hacia la altura. El calentamiento de la filita debió haber sido de importancia, porque sinó, no se hubieran podido formar endomórficamente los nuevos productos. Se trata aquí de una inyección, que actuó también exomórficamente. Esto resulta de la filita vitrificada descrita.

A continuación de estos fenómenos empezó probablemente de inmediato la transformación del corindón. Produjo mica potásica y un mineral que corresponde al diapsor y que se llamó « Kayserita ». Este se enriqueció en diaclasas y vetas angostas que, como zonas de menor resistencia, provocaron la formación de « espejos », los testigos de dislocaciones tectónicas posteriores en la roca.

(1) Tal vez el contenido de hidróxido del mineral indica los factores que han actuado en la formación (MgO (o un silicato de Mg) + $2 HF = Mg F_2 + H_2O$).

(2) Cómparese la fórmula (3) en la pág. 15. El contenido aumentado de Na del análisis pág. 8 abajo indica tal vez la importación de feldespato albitico, mineral que en la finura del grano de la roca, escapa a la vista.

III. LA FORMACION DE ROCAS CORINDICAS EN PIZARRAS CRISTALINAS SEDIMENTOGENEAS

Si se compara el análisis de las páginas 5 y 6 con la composición de rocas de esmeril, mencionadas por H. ROSENBUSCH (Elem. der Gesteinslehre, 3.^a edición, pág. 679) y U. GRUBENMANN (Krist. Schiefer, 2.^a edición, pág. 284), y además por PAPAVALIOU (20, pág. 87), salta a la vista, como ya se mencionó anteriormente, el contenido bajo de mineral de hierro, esto es, del componente que en la forma de magnetita o hematita es indispensable para el concepto « esmeril ». Aquí la suma de los dos sesquióxidos, que intervienen en proporciones muy variables, alcanza más o menos al 90 %, mientras que los otros componentes ocupan un lugar muy secundario.

Mucho lamento de no disponer de ninguna de las publicaciones citadas por ROSENBUSCH - WÜLFING ⁽¹⁾ sobre el yacimiento del corindón como mineral de contacto; además existe la duda si estos trabajos contienen un número suficiente de análisis para poder compararlos con los de nuestra roca ⁽²⁾. Apesar de eso, puede suponerse que el contenido de metales de hierro que acompaña al mineral de contacto, no llega a la riqueza correspondiente en las rocas de esmeril típicas. Hay, pues, que eliminar por completo de la serie de las pizarras cristalinas las rocas corindicas de contacto ⁽³⁾.

Restan, pues, aquellas rocas aluminicas que se caracterizan por un contenido de metales de hierro, a menudo de importancia. La formación de estas rocas de esmeril típicas, se deduce generalmente de productos como bauxita, laterita y terra rossa; tenemos, pues, que ocuparnos de este tópico.

A pesar de una gran cantidad de publicaciones que se ocupan de la formación de dichas rocas — que debemos clasificar, ya como alumolitas cristaloides, ya como coloideas (1) — y de las relacio-

(1) Mikr. Physiogr., 1, 2, 4.^a edición, pág. 86.

(2) La publicación de W. MAIER (14) tampoco trae análisis alguno de una roca corindica.

(3) A éstas hay que unir también el yacimiento del Ochsenkopf (véase más abajo).

nes recíprocas (28 y 7), faltan hasta ahora completamente las observaciones relativas a si es posible establecer un lazo entre los llamados productos de edad geológica limitada ⁽¹⁾ y el corindón ferrífero incluido como roca en pizarras cristalinas, es decir, el esmeril. Fácil es — tal vez demasiado fácil — clasificarlo como bauxita metamorfoseada. Imagínesele expuesto a alta presión y a temperatura elevada, y tiene que transformarse en corindón, estando presente, pues, en el contenido de agua del mineral en cuestión, la humedad de la roca (*Bergfeuchtigkeit*) necesaria, y siendo posible realizar dicho procedimiento geológico por vía artificial.

Así *puede* haberse formado el esmeril, pero la naturaleza no *debe* haber procedido de esta manera. Para robustecer esta teoría bauxítica tendría que ser posible reconstruir, al menos en grandes líneas, el cuadro de las circunstancias bajo las cuales se ha formado la supuesta materia prima de la esmeril, para compararlo con la bauxita, etc. Tomando en cuenta la gran edad de los yacimientos de esmeril, todo ensayo semejante tiene que presentar grandes dificultades, como se comprende si se comparan las publicaciones de W. PAULS (21), R. LACHMANN (9) y K. BODEN ⁽²⁾.

Volvamos al yacimiento geológico del esmeril. Según las observaciones anteriores, parece que la presencia de corindón en rocas sedimentogéneas metamórficas, está en relación, por un lado con cales y dolomitas cristalinas, y por otro, con productos rocosos más o menos ricos en alúmina, viz, filitas, mica- y cloritoesquistos, como quizá también rocas hornbléndicas. El yacimiento geológico de corindón, es así comprensible sin otra explicación; puede uno figurarse, que la alúmina se haya separado de los minerales respectivos por una especie de catálisis de estas ⁽³⁾ o haya pasado por algún metamorfosis, junto con la producción de los minerales respectivos, del estado amorfo al cristalino. Más, ¿qué pensar sobre la presencia del esmeril dentro de cales y dolomitas cristalinas, yacimiento con el cual están aparentemente de acuerdo, la teoría

(1) Compárese con ese objeto el reciente trabajo de W. J. MEAD (16) dotado de muchos cuadros instructivos, entre otros uno relativo a la bauxita oolítica. El autor llega a este resultado: « The bauxit and associated clays are the product of surface weathering of the syenite of normal processes of rock decomposition and are in no sense chemical sediments ». La vecindad de fuentes termales y la serie notable de formaciones: sienita (roca madre) — caolín — bauxita, podría inducir a suponer el origen combatido por el autor americano.

(2) Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 67, 1915, Abh. pág. 105.

(3) Véase nota al pie N.º 4, pág. 14.

de LIEBRICH y la explicación dada por PAULS sobre las báuxitas húngaras ?

En la resolución de este problema hay que atenerse a las investigaciones de PAPAVALIOU, pues sus deducciones se apoyan, contrariamente a la teoría de LIEBRICH y a su aplicación por R. KRÄMER a los yacimientos de Asia Menor, en observaciones fundamentales sobre el terreno.

Se presenta en primer término la cuestión siguiente: Si la materia prima del corindón — en caso de deshechar la idea de PAPAVALIOU sobre un acceso de aluminio — consistía en alúmina amorfa entremezclada o en silicatos aluminicos, es decir, si hay que considerar la formación de corindón, interpretada hasta ahora como procedimiento contacto- o dinamometamórfico, de la misma edad que la transformación de la cal impura en mármol y en los minerales acompañantes ⁽¹⁾, o si dicha formación es más reciente que ellos.

La solución de estos problemas, como la objeción principal a la teoría bauxítica, se deducen del trabajo del autor griego. Se observa, pues, que el esmeril forma yacimientos muy localizados dentro del mármol, lo que de ninguna manera lleva a la conclusión de residuos de descomposición parecidos a terra rossa o bauxita (20, pág. 99). Además estamos imposibilitados de reconstruir las relaciones geológicas, bajo las cuales se formó el mármol, tanto más cuanto que la edad del fundamento cristalino griego es todavía desconocida (19, pág. 175).

Pero no solamente del punto de vista local sino también del cronológico, según la teoría que tratamos, tendría que ser mucho más abundante la presencia de esmeril. Habiéndose formado rocas análogas a la terra rossa en muchos períodos y tantas veces en un paraje que se ha metamorfoseado extremadamente en tiempos posteriores, se tendrían que hallar yacimientos de esmeril en diversas formaciones y en muchos puntos de la superficie terrestre, lo que de ninguna manera responde a la realidad.

Pues bien; las investigaciones de PAPAVALIOU prueban que en las islas de Naxos, Irakliá y Síkinos, conocidos por sus yacimientos de esmeril, existen relaciones íntimas y todos los estados intermedios entre mármol y pizarras muy variables ⁽²⁾. Re-

(1) PAPAVALIOU atribuye el metamorfosis al gneis. Este, en verdad, no es nada más que un granito esquistoso (19, pág. 189).

(2) Compárense con ese fin especialmente los perfiles 1-3 en 19 y 20.

sultan así productos que el autor llama micaesquisto de esmeril (Schmirgelglimmerschiefer), roca que clasifica como un micaesquisto impregnado de esmeril y por eso transformado. Otras rocas análogas son el esmeril de cloritóide y el de silimanita (Chloritoid- y Sillimanitschmirgel). En general es sabido, y se puede observar en muchos puntos, justamente en el Uruguay, que yacimientos de mármol más amplios derivan de interposiciones casuales más reducidas de carbonato de calcio entre pizarras cristalinas. Consta también, que precisamente el mármol dolomítico ⁽¹⁾ es rico en interposiciones de minerales silicatados, con preferencia los de magnesio. PAPAVALIOU habla también del contenido de tremolita, amianto y hornblenda en los mármoles de Amómaxi (20 pág. 102)

Si consideramos, por un lado estas relaciones íntimas y posiciones alternantes entre yacimientos de mármol, rocas aluminicas é interposiciones de esmeril cinteado; si tomamos en cuenta, por otro lado, la gran extensión longitudinal (hasta un kilómetro) de los « filones de esmeril estratiformes » náxicos en la descripción de PAPAVALIOU; y si observamos, finalmente, como dichos filones presentan en algunos puntos, por estar compuestos de sustancias más plásticas que el mármol, un plegamiento particular hasta el extremo de haber penetrado a través del mismo (20, figuras 9, 11, 12, 14, 16, 18), hay que deducir necesariamente que se trata aquí de un yacimiento originado por vía pneumatolítico-termal, *yacimiento metasomático, no según el carbonato de calcio, sino según interposiciones ricas en alúmina, esencialmente micáceas, intercaladas originariamente en el mármol.* Con esto coincide la observación de TSCHERMAK, según la cual la materia prima del esmeril tendría una estructura esquistosa. Opino que la creación de los componentes secundarios del esmeril (turmalina, cloritóide, silimanita) y la del metal acarreado en su formación, fué esencialmente simultánea; aquellos minerales representan los silicatos que se han formado junto con la separación de un exceso originario de aluminio. De acuerdo con nuestra teoría sobre el origen del esmeril, se halla el caso observado por PAPAVALIOU (20, fig. 7 y 10, según el cual el mineral aparece en posición pentrante (durchgreifend), y además el decrecimiento de la cristalinidad del esmeril de abajo arriba, fenómeno observado por el mismo autor, corrobora nuestra opinión.

(1) De esta misma roca debe tratarse en las islas citadas según la descripción de PAPAVALIOU.

Entre las objeciones que pueden hacerse a nuestra interpretación, se encuentra sin duda la siguiente: por qué los micaesquistos que acompañan al mármol, no tienen corindón. Es éste el caso que ya llamó nuestra atención al principio de estas líneas, al hacer alusión a las ideas de PAPAVALIOU respecto del origen del esmeríl. Según las observaciones del autor griego, parece que esa falta de corindón no se observa en todas partes (20, pág. 112 y 119). Además es posible figurarse que la actividad pneumatolítica tendiente a separar el aluminio, halló en las interposiciones del mármol condiciones físicas especialmente favorables, de manera análoga a lo sucedido durante la formación de la cordierita en el pequeño yacimiento uruguayo al E del camino a Pan de Azúcar. Es cierto que nuestro yacimiento nos brinda, al primer golpe de vista, por la invisibilidad de una roca intrusiva, una serie de problemas enigmáticos; sin embargo, la acción de la última es indiscutible.

Sobre el origen de los yacimientos de esmeríl de Asia Menor, descritos por R. KRÄMER, no se pueden hacer investigaciones por las razones dadas más arriba. Se dice, respecto del yacimiento, que el esmeríl se halla como masas lenticulares en el potente mármol y que aflora en la vecindad de rocas eruptivas. El autor es partidario de la teoría bauxítica. Habiéndola desechado ya por el origen del esmeríl náxico incluído en cales, con mayor razón debemos observar la misma conducta respecto del interesante yacimiento sajón. Su discusión nos llevará de nuevo al yacimiento uruguayo con el cual hemos iniciado el presente trabajo.

En el Ochsenkopf se trata de una formación geológica de extensión sumamente limitada, formación que excluye en absoluto toda teoría respecto de un origen de sustancias bauxítico-lateríticas. Más, tampoco puede aceptarse para el corindón la teoría de un origen por vía de metamorfosis regional (o de profundidad), como ya se indicó. Se presentan las siguientes objeciones:

Las filitas del Ochsenkopf son, como explica KILLIG, ricas en alúmina (hasta 40 %). Dicho contenido elevado no se limita al paraje del yacimiento coríndico, y por eso no se comprende como el metamorfosis regional (de profundidad) fué capaz de acentuarse en un lugar limitado; hasta la creación de corindón, como si se hubiera abierto aquí en el escenario del epi-metamorfismo un abismo (Ver-senkung) que condujera al del meso-o katametamorfismo.

Si el corindón no deriva de la paragonita — cuestión que no

puede resolverse con certeza por los afloramientos deficientes en el yacimiento sajón — debe haberse engendrada, por vía pneumatolítica, de la filíta, rica en alúmina. Al mismo tiempo se formó la mica sódica. Sorprende la analogía con el yacimiento uruguayo ; pero mientras en este caso la presencia de una roca intrusiva era teórica, nos hallamos en el yacimiento sajón en proximidad grande del granito del Eibenstock, cuyas emanaciones pneumatolíticas son casi proverbiales. Penetra las filítas en posición discordante. Debiendo suponer, con KILLIG (5, pág. 50) que el corindón esté limitado sobre cierto horizonte en la filíta, sentamos nosotros que se trata del horizonte cuyo mineral o roca rica en alúmina, sufrió una amputación (Abspaltung) de dicho producto por el ascenso de fluoruros.

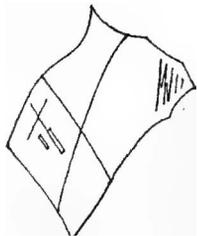
Tanto en Sajonia como en el Uruguay se trata, pues, de un yacimiento lentiforme de « Korundfels » metido en el rumbo de pizarras filíticas, yacimiento lentiforme que por su contorno filoniforme (1) hace surgir ya de antemano suposiciones respecto del origen del fenómeno geológico. Estas opiniones se confirman por la vecindad de masas graníticas, y toman cuerpo en el sentido indicado.

CONCLUSION

Resumiendo lo dicho, llegamos al siguiente resultado : La formación del esmeril y la de la bauxita - laterita siguen distintos caminos. Es posible que por excepción proceda la formación de la bauxita por vía hidrotermal, más su sola composición no justifica la suposición de que sea la materia prima del esmeril. La formación de grandes cantidades de corindón dentro de pizarras cristalinas sedimentogéneas se manifiesta, ya en forma de yacimientos reducidos en la proximidad de rocas intrusivas (« Korundfels »), ya estratiforme como esmeril. En los dos casos se trata de fenómenos del metamorfismo contacto - pneumatolítico, que tienden a producir una amputación (Abspaltung) de alúmina de los minerales y rocas, ricas en dicho producto. Pero, mientras en el « Korund-

(1) Véase 22. La anchura del afloramiento se ha reproducido, por motivos técnicos, l. c. probablemente en estado exagerado.

fels » tiene lugar una afluencia de nuevos componentes sólo en escala reducida, en el esmeríl la formación es simultánea de grandes cantidades de metal férrico, que deriva de la emanación del fluoruro o cloruro correspondiente. El hecho de que el corindón presente, donde no se ha diferenciado del magma, un producto esencialmente pneumatolítico, queda demostrado por el acompañamiento ocasional de casiterita y zinvaldita, y también por su relación con filones pegmatíticos, granitos turmalínicos y formaciones análogas. La formación del corindón pasa por el estado de fluoruro de aluminio; la misma combinación química, $AlF_3 + aq.$, se halla en la naturaleza como fluelita. Se sabe que este mineral, junto con otras sales de fluoruro de Al complejas, entre ellas la criolita, como más conocida, es de origen típicamente pneumatolítico.



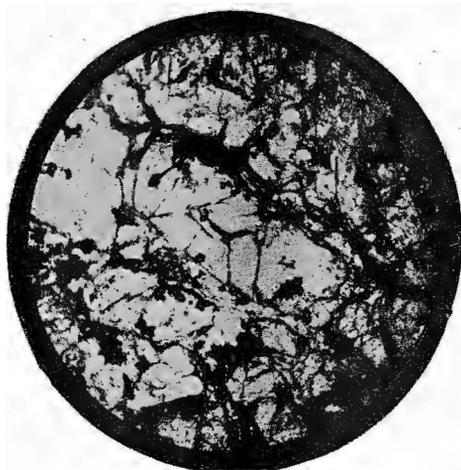
9



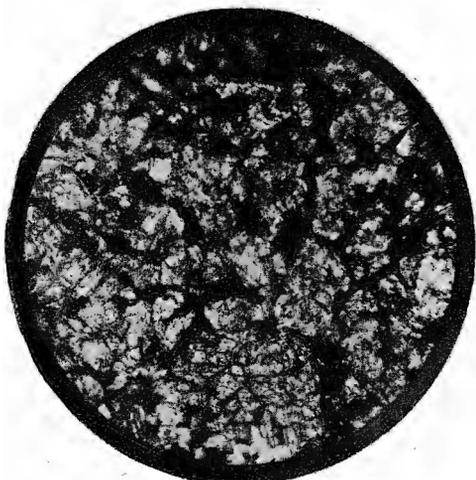
10



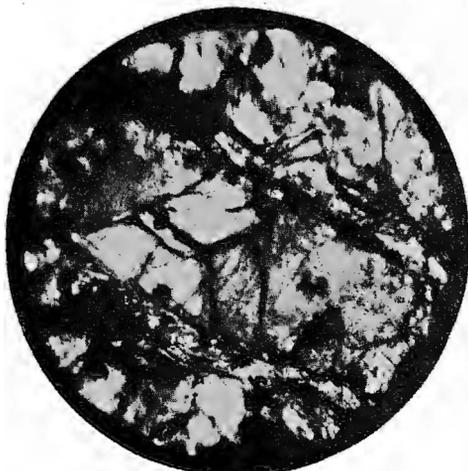
11



12



13



14

LEYENDA DE LAS FIGURAS

(Todas las fotografías del autor)

- FIG. 1 — Croquis de los alrededores de Minas. (La escala está indicada en kilómetros).
- » 2 — El Cerro Redondo desde NE.
 - » 3 — Pequeño yacimiento de piedra córnea esquistosa visto de NW.
 - » 4 — Plan geológico del mismo yacimiento. (La escala está indicada en metros).
 - » 5 — Croquis geológico del yacimiento principal. (La escala está indicada en metros).
En vez de « Schiefernomfels » léase « Schieferhornfels ».
 - » 6 — Piedra de corindón (Korundfels) cerca de la cumbre del C. Redondo.
 - » 7 — Grieta en « Korundfels » rellena de Kayserita (casi $\frac{1}{2}$ tamaño natural).
 - » 8 — Filones de mica en piedra de corindón ($\frac{1}{4}$ tamaño natural).
 - » 9 — Macra de cordierita del « Kordieritschieferhornfels » (aumento 375 veces).
 - » 10 — « Ojos » en « Kordieritkorundfels » rellenos de cristales de corindón fuertemente transformados en Kayserita (aumento 18 veces).
 - » 11 — Idem con aumento más grande (64 veces).
 - » 12 — Cristal de corindón en « Korundfels » con « exfoliación » según R.
 - » 13 — Estructura de adoquín en « Korundfels » (aumento 33 veces).
 - » 14 — El mismo cristal como en la fig. 12 bajo + Nícoles, mostrando la transformación en Kayserita (aumento 62 veces).
-