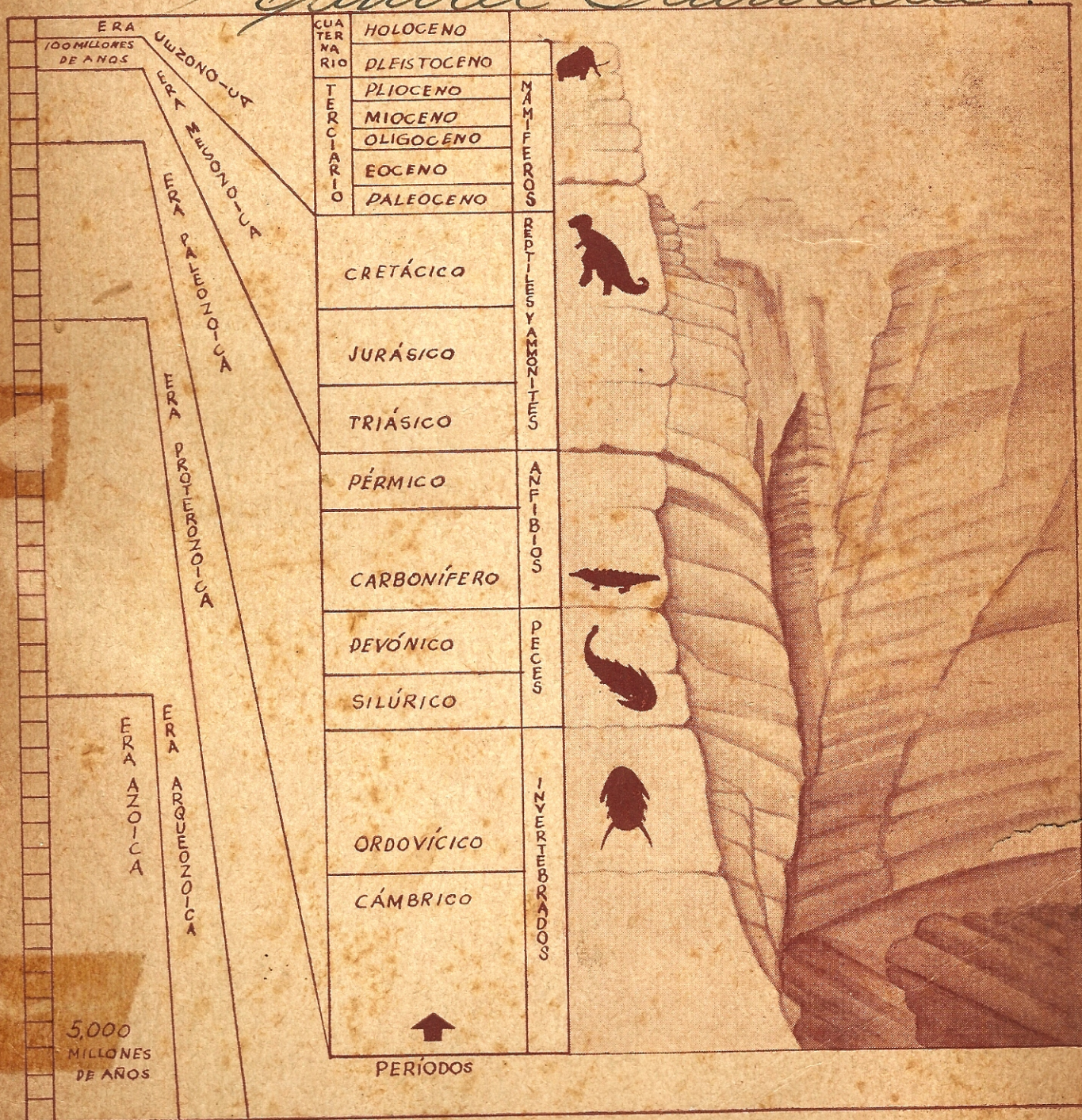


REVISTA DE

GEOLOGIA

Manuel Terralde



REVISTA DE
GEOLOGIA

ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA

AÑO I No. 1

CONSEJO DE DIRECCION

DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ, PRESIDENTE
ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA

ING. JESUS FRANCISCO DE ALBEAR, DIRECTOR
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

MIEMBROS:

LIC. ANDRES LINCHENAT
INSTITUTO CUBANO DE RECURSOS MINERALES

ING. JOSE RAMON LUEGE
INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS

LIC. FRANCISCO FORMELL
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

DR. PEDRO CAÑAS ABRIL
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

ING. GERMAN PLANAS
INSTITUTO DE SUELOS

Co. OTTO HERNANDEZ
DEPARTAMENTO DE GEOFISICA

I N D I C E

Notas preliminares acerca del carso en peridotita, Sierra de Moa, Oriente, Cuba. Por Antonio Núñez Jiménez, Igor Z. Korin, Vladimir I. Finko, Francisco Formell Cortina	5
Sobre la edad de la corteza de intemperismo y las lateritas de Cuba. Por V. I. Finko, I. Z. Korin, F. Formell Cortina	29
La mineralogía de la corteza de intemperismo de las rocas ultrabásicas de la costa norte de la provincia de Oriente, Nicaro, Moa. Por Vladimir Kudelasek, Irena Marxova, Vitezslav Zamarsky	49
Breve informe sobre la metalogenia de los yacimientos hidrotermales de cobre en Cuba. Por N. P. Laverov, R. Cabrera, A. Calvache	77
Estructura geológica y algunas cuestiones relativas a la génesis del yacimiento "El Cobre" (Oriente). Por N. P. Laverov, R. Cabrera	87
Algunas peculiaridades de la Geología de los alrededores del yacimiento "El Cobre" relacionadas con su génesis. Por N. Laverov, R. Cabrera	104
Protrusiones de las serpentinitas en el noroeste de Oriente. Por A. L. Knipper y M. Puig	122
Estructura tectónica de las montañas de la Sierra de los Organos en la zona del pueblo de Viñales y situación en ella de los cuerpos de serpentinitas. Por A. L. Knipper, Y. M. Puscharovski, M. Puig	138
Estructura geológica y algunas cuestiones sobre la génesis del yacimiento de cobre "Matahambre" (provincia de Pinar del Río). Por N. P. Laverov, J. Burian, R. Cabrera, S. Konecny	147

Estructura geológica y algunas cuestiones
relativas a la génesis del yacimiento
“El Cobre” (Oriente)

N. P. LAVEROV

R. CABRERA

ESTRUCTURA GEOLOGICA Y ALGUNAS CUESTIONES RELATIVAS A LA GENESIS DEL YACIMIENTO "EL COBRE" (ORIENTE)

RESUMEN

Fundamentalmente en los procesos de los trabajos de campo, elaboramos un esquema geológico-estructural del yacimiento, en el cual se muestran los principales elementos tectónicos que controlan la posición de los cuerpos mineralizados. Fueron aclaradas importantes, a nuestro parecer, regulaciones en la localización en el espacio de las vetas minerales y las zonas de venas entrecruzadas y también de los metasomatitos vinculados con ellos. Se ha establecido que la situación de los cuerpos minerales, depende fundamentalmente de la conjugación favorable de factores estructurales y litológicos. Además se exponen nuevos datos sobre la geología del área del yacimiento, sobre su estructura y sus condiciones de formación.

INTRODUCCION

De acuerdo con el programa de investigaciones científicas conjuntas de la Academia de Ciencias de la URSS y la Academia de Ciencias de Cuba, en el año 1965 fueron realizados trabajos geológicos en la provincia de Oriente en el yacimiento hidrotermal "El Cobre". El estudio de su estructura resultó necesario a los autores para esclarecer las leyes que rigen la localización de los cuerpos minerales entre las sedimentaciones vulcanógenas de la formación El Cobre. De todos los yacimientos y manifestaciones minerales que se encuentran en los límites de la zona minera del sur de Oriente,⁽⁹⁾ el yacimiento "El Cobre" es considerado como el mejor objetivo para tales investigaciones, ya que en él se están realizando en gran volumen trabajos de reconocimiento y perforaciones a profundidades que alcanzan hasta 500 m, y su superficie está abierta por numerosos trabajos a cielo abierto.

El yacimiento "El Cobre" se encuentra en la parte central del sur de Oriente, a 18 km hacia el oeste de Santiago de Cuba. Es conocido y se explota con interrupciones desde 1540. Según los datos aportados en los informes y artículos de distintos autores^(7, 3) en 400 años de actividad minera en El Cobre se han extraído cerca de 10 millones de toneladas de mineral, conteniendo desde el 2.53 hasta el 20% de cobre. Ac-

tualmente en la evaluación de las perspectivas del yacimiento, los trabajos están concentrados fundamentalmente en la región de los yacimientos Mina Grande y Mina Blanca; la planta de enriquecimiento trabaja sobre escombreras viejas. En los informes y artículos geológicos dedicados a "El Cobre"^(1, 2, 7 y otros) fundamentalmente se examinan las cuestiones geológico-económicas vinculadas con la explotación y con la futura prospección del yacimiento. Anstead (1956), Lawson (1910), Tatl (1911), Emerson (1918), Allende (1927), A. Mesta, Peeffer y Salton (1961), Bogdanov y otros (1964), Klimov y Gusev (1963) aportaron datos sobre la situación geológica del yacimiento y los principales elementos de su estructura. La geología más detallada de los alrededores del yacimiento "El Cobre" y las condiciones de su origen se contemplan en el trabajo de Y. Bogdanov, V. Bogdanova y M. Miralles.⁽³⁾ Los autores señalados han descrito las rocas encajantes vulcanógenas, los principales cuerpos minerales y han formulado la situación de los controles magmáticos y litológicos de la mineralización. Todos los datos que se poseen de otros artículos e informes se tuvieron en cuenta por los autores, lo que ayudó en un grado considerable a realizar las investigaciones trazadas.

SITUACION GEOLOGICA DEL YACIMIENTO

El yacimiento "El Cobre" se encuentra en la zona de transición del anticlinorium Sierra Maestra y el sinclinorium oriental cubano. Tal como ha sido mostrado por los autores⁽⁸⁾ esta zona representa la parte más móvil del residuo geosinclinal donde se han desarrollado ampliamente las fallas, y las zonas de gran agrietamiento de las rocas, y donde también se han concentrado numerosos sillares, cúpulas extrusivas, y macizos de basaltos, diabasas, andesitas, dacita y liparitas, y también los "intrusivos pequeños" más jóvenes, y diques de microgabro, de microdiorita, de pórfidos pla-

giograníticos, y otras rocas. En esta misma zona se ha manifestado más intensamente la mineralización sulfida hidrotermal, la cual, aunque se formó después que los cuerpos magmáticos indicados, presenta fuertes vínculos espaciales con ellos.

Los cuerpos minerales principales del yacimiento "El Cobre" se distribuyen en las rocas piroclásticas del eoceno inferior de la subformación Ermitaño,⁽⁸⁾ formadoras de la capa inferior del piso estructural-geosinclinal.

Estos cuerpos se localizan preferentemente en las cercanías de una zona complicada de grietas de dirección sublatitudinal, en los lugares donde las fallas de dirección nordeste (45-50°) se unen a ella en algunos lugares complicados por fallas submeridionales (Mina Grande). En tales nudos estructurales resultan concentrados campos de rocas intensamente falladas, en los cuales coinciden complejas zonas lineales de vetas entrelazadas que contienen la masa más importante de mineral.

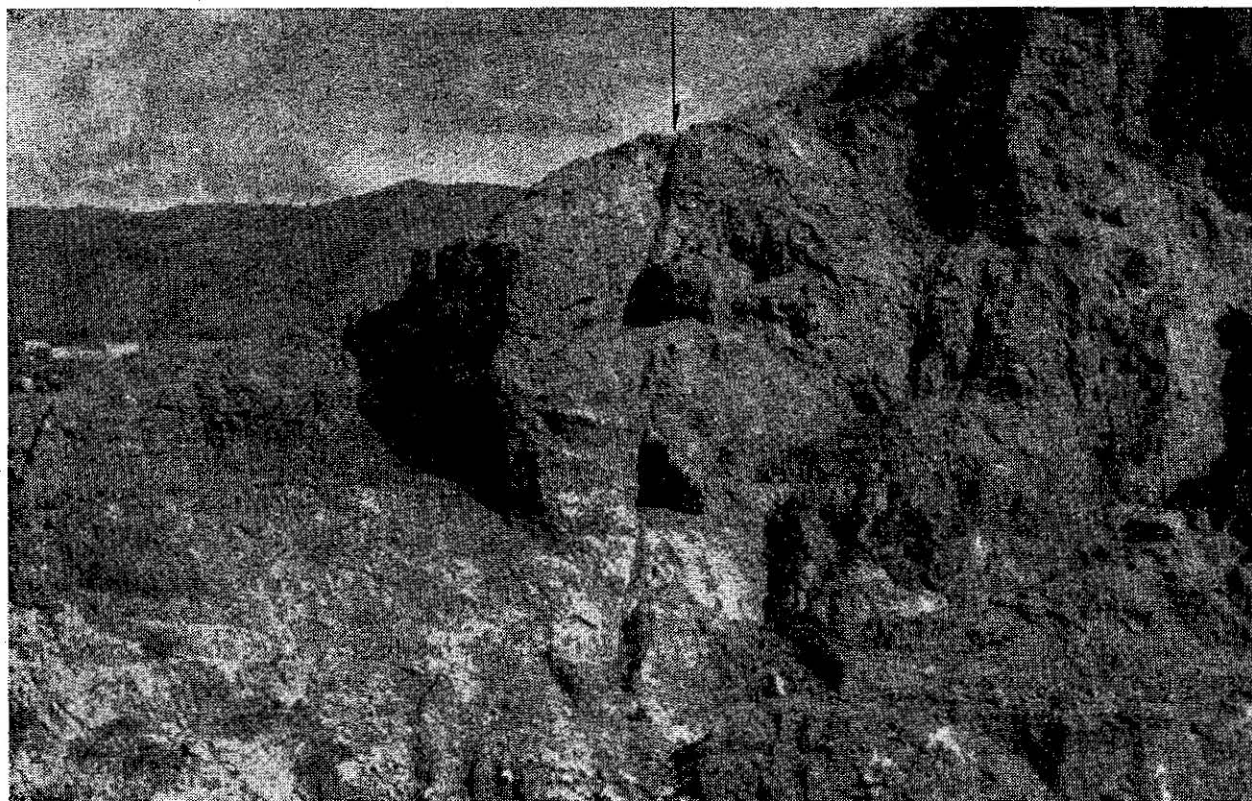


Foto de "Mina Grande", donde se observa (flecha) la falla transversal.

ROCAS ENCAJANTES

Rocas Vulcanógeno-sedimentarias

Las rocas vulcanógeno-sedimentarias que se han desarrollado en el área del yacimiento fueron separadas por Y. Bogdanov y otros⁽³⁾ en dos series: paleocénica y eocénica; y cada una de ellas a su vez ha sido dividida en dos paquetes: inferior y superior, que están formados por horizontes de tufitas-tobas, de aglomerados y lavas brechosas y andesíticas.

Las rocas que forman el área del yacimiento, abarcadas en el esquema geólogo-estructural (fig. 1)*, nosotros las incluimos en la subformación Ermitaño.⁽⁸⁾ Estas rocas forman tres paquetes de poco espesor, cada uno de ellos comienza con rocas vulcanógeno-sedimentarias (frecuentemente de pequeños clastos) y termina con la formación de aglomerados y tobas. Las lavas de andesitas y dacitas juegan un pequeño rol en el perfil. Algunos de los mantos de lavas distinguidos anteriormente⁽³⁾ son considerados como ignimbritas y existen otros que forman sillares de cuerpos subvulcanógenos, los cuales atraviesan las rocas tobáceo-sedimentarias.

* Entiéndase por Fig. 1 la Ap. Fig. 1-C del Atlas adjunto.

En la distinción de las rocas vulcanógenas partimos del hecho de que los horizontes de rocas sedimentarias, particularmente los de materiales finos lavados, son considerados peculiares "horizontes llave", los cuales se formaron en el período de extinción de la actividad volcánica en esta región. En su activización frecuentemente se forman facies de clastos gruesos y mantos de lavas. Según esto, los límites entre los paquetes coinciden con los horizontes de rocas sedimentarias y pudieron ser mapeados de acuerdo con la realidad. Las rocas incluidas en los paquetes son consideradas como una asociación natural, que reflejan algunas etapas del desarrollo de la actividad volcánica.

En la región del yacimiento (fig. 1) existen rocas que se relacionan con tres paquetes locales, en los cuales se distinguen horizontes de conglomerados tobáceos de areniscas, frecuentemente de estratos entrecruzados, de tobas, tufitas, tobas andesíticas, ignimbritas dacíticas y mantos de lavas andesíticas y dacíticas.

Por aglomerado sobrentendemos las rocas piroclásticas que tienen diferente composición en los fragmentos y en el cemento. En esto, el tamaño de los fragmentos sobrepasa 1 cm. Las rocas que poseen fragmentos más pequeños son considerados como tobas. En los aglomerados frecuentemente hay ausencia de estratificación. A veces entre ellos se encuentran finos y pequeños estratos de tobas, tufitas, y de areniscas tobáceas, las cuales hacen posible la determinación de las condiciones de yacencia de los horizontes de aglomerados. Los fragmentos en los aglomerados tienen forma angular y redondeada. Entre ellos frecuentemente predominan las andesitas y sus tobas, las cuales poseen distinta coloración, estructura y grado de alteración. Con menos frecuencia se encuentran fragmentos de diabasas, de basaltoides, de caliza, de areniscas tobáceas y de tufitas. La masa principal de los aglomerados está representada por pequeños fragmentos angulares: material tobáceo, el cual es remplazado siempre por clorita.

En un grupo aparte se distinguen aglomerados de grandes fragmentos, los cuales se encuentran en todos los paquetes, pero que son más característicos para el paquete inferior (fig. 1).

En la región del área Gitanilla, el tamaño de los fragmentos de estos aglomerados alcanza hasta 40-70 cm y raramente 1 m. La cantidad de ellos en algunas partes llega hasta el 70% del volumen total del material. El cemento en este caso también está representado por material de pequeños fragmentos, el cual principalmente es remplazado por clorita y carbonato.

Otros aglomerados (indicados en el esquema) tienen fragmentos de menor tamaño desde 1 hasta 10-20 cm. Los contactos entre estos aglomerados y las variedades de fragmentos gruesos son frecuentemente graduales y los límites entre ellos se han indicado en el mapa hasta cierto punto de una manera condicional. Entre los fragmentos de andesitas y diabasas raramente se encuentran conservadas las estructuras primarias. Frecuentemente, la masa principal de estas rocas está cloritizada y contiene plagioclasa desanortizada; muy raramente el piroxeno está alterado. Las incrustaciones porfiríticas de feldespatos y de minerales de color oscuro se conservan mejor, pero en la mayoría de los casos son remplazados por hidromicas(?), clorita y carbonato. Raramente, los fragmentos de lavas macizas poseen una estructura diabásica definida y en las incrustaciones contienen fenocristales de andesina y piroxenos. La masa principal en este caso contiene también una débil cloritización del piroxeno. También se encuentran, aunque más raramente, fragmentos de basaltos oscuros ligeramente alterados y de dacitas de colores claros.

El predominio de las andesitas y de sus tobas entre los fragmentos, evidencia que en el período de formación de la parte del corte que sirve de caja en la subformación Ermitaño, los productos vulcanógenos de composición andesítica jugaron el rol más importante.

En el estudio detallado de los fragmentos de los aglomerados nosotros no encontramos ni diorita, ni plagiogranito, ni otras rocas completamente cristalinas, ni tampoco efusivos ácidos, lo que puede servir para indicar indirectamente la edad más joven de estas rocas en relación con la subformación Ermitaño.

En los aglomerados, la magnetita es el principal mineral accesorio,⁽³⁾ la cual se encuentra frecuentemente en los fragmentos, así como también en la masa principal.

En algunos casos, también en los fragmentos se pueden ver tobas de andesitas y diabasas epidotizadas y amigdaloides, en las cavidades de las cuales se encuentran zeolita, carbonato, clorita, cuarzo y pirita.

Las tobas, al igual que los aglomerados, se hallan difundidas ampliamente en el área del yacimiento. Estas son las principales rocas encajantes en Mina Grande y Mina Blanca y la mayoría de ellas forman parte de las variedades litoclásticas; se diferencian de los aglomerados solamente porque sus fragmentos son más pequeños.

Entre las tobas del paquete inferior predominan por su composición las andesitas y en el superior las variedades andesito-dacíticas y dacíticas.

Las tobas litoclásticas de andesitas no poseen contactos precisos con los aglomerados; frecuentemente están ligadas a ellos por transiciones graduales. Los fragmentos grandes de estas tobas están compuestos generalmente por andesitas y diabasas. En las variedades cristaloclásticas se encuentran fragmentos de plagioclasa, piroxeno y raramente cuarzo.

En el paquete medio y en el superior juegan un rol importante las tobas. En este paquete también se encuentran tobas cristaloclásticas de textura maciza, las cuales en el corte de estos paquetes juegan un rol de dependencia.

Como ignimbritas nosotros consideramos, de acuerdo con el criterio actual, a las rocas piroclásticas que tienen una textura maciza (característica de las lavas) y una estructura fragmentada (característica de las tobas). Las ignimbritas forman un gran grupo intermedio de rocas con rasgos característicos de tobas y de lavas. Se forman frecuentemente en las erupciones del tipo de "nubes calientes" y han sido descritas en trabajos de muchos vulcanólogos (Marshall, Zavaritski).

Las ignimbritas están compuestas por pequeños fragmentos de vidrio volcánico que tienen límites entre ellos mal definidos. En algunas partes estos fragmentos se "funden" y forman dentro de la masa principal "acumulaciones" irregulares de vidrio volcánico, con contornos desiguales. A veces adquieren forma de lentes, los cuales se encuentran orientados paralelamente a la estratificación.

Las ignimbritas se encuentran en el paquete superior del yacimiento. Los mantos de ignimbritas aquí poseen una estructura zonal. El horizonte basal del mismo está formado por tobas, tobas cristaloclásticas, areniscas tobáceas y tufitas, las que poseen un espesor variable. Más arriba de este horizonte se distribuyen los aglomerados macizos de fragmentos pequeños y tobas aglomeradas, las cuales están cubiertas por ignimbritas. En la parte inferior del manto formado por estas rocas, se distribuyen andesito-dacitas en forma de lavas macizas, las cuales poseen la masa principal de estructura fragmentada. Hacia la parte superior del corte, estas rocas se convierten poco a poco en tobas compactas y después en porosas. En conjunto, para las rocas del manto es muy característica la textura maciza, basado en lo cual algunos autores⁽³⁾ las incluyen anteriormente en las lavas.

ROCAS INTRUSIVAS

Entre las rocas intrusivas Y. Bogdanov y otros distinguieron y describieron los cuellos volcánicos y los diques andesíticos. Los autores indicados separaron condicionalmente estas rocas en varios grupos por edades y por primera vez subrayaron la diferencia en su composición y estructura.⁽³⁾

Como resultado de las investigaciones que nosotros realizamos en 1965, queda establecido que en la parte sur de Oriente es necesario distinguir por lo menos tres grupos de rocas intrusivas por edades, asociadas en un complejo único: 1) intrusivos-subvolcánicos viejos y diques cercanos por su edad a la formación Cobre, 2) otros más jóvenes, grandes intrusiones de dioritas-plagiogranitos, y por último 3) pequeños intrusivos y diques de rocas básicas, intermedias y ácidas.⁽⁸⁾

En el yacimiento "El Cobre" se pueden determinar claramente sólo dos grupos de rocas intrusivas por edades: el grupo más viejo y el joven de pequeños intrusivos y diques.

Los intrusivos viejos subvolcánicos, probablemente cercanos por su edad a las sedimentaciones vulcanógenas de la formación Cobre, ofrecen cuerpos en forma de sillares compuestos por diferentes rocas, diabasas, andesitas y dacitas.

Los cuerpos andesíticos más grandes afloran en la divisoria de las aguas del río El Cobre y el arroyo Ermitaño. Ellos se encuentran fuera de los límites del esquema geológico adjunto a este artículo y se han descrito bastante detalladamente en los artículos e informes de Y. Bogdanov y otros.⁽³⁾ Las andesitas de este intrusivo se entrecruzan con diques más jóvenes de diabasas y andesitas; esto se puede apreciar bien en una parte de Zona Alta y en la cuenca del río El Cobre. Precisamente por esto al cuerpo indicado nosotros lo incluimos en el grupo más viejo de rocas intrusivas.

El segundo intrusivo no muy grande de andesitas se encuentra en el límite de los paquetes inferior y medio, en el contacto con las rocas sedimentarias. Las andesitas en estas rocas forman sillares discontinuos y diques de poca inclinación y espesor insignificante (1-5 m) que tienen forma alargada casi en concordancia con las rocas encajantes. Mediante el estudio de los contactos de estos cuerpos, se establece que casi por doquier están fallados, pero en algunos lugares tienen apófisis. Una de estas apófisis la apreciaron los autores, entre las sedimentaciones tobáceas en la margen derecha del río El Cobre, más al sur de la zona minera de Gitanilla. Aquí se puede apreciar bien que las an-

desitas atraviesan las rocas encajantes y que son más jóvenes con relación a ellas. Por doquier, los cuerpos andesíticos tienen estructura zonal. Sus partes centrales están compuestas por rocas granulares porfíricas y las periféricas por variedades compactas no cristalizadas. En las incrustaciones porfíricas predomina la plagioclasa zonal y raramente se encuentran piroxeno y hornblenda cloritizados. La masa principal también está compuesta por plagioclasa y en cantidades subordinada por hornblenda y piroxenos. En estas rocas siempre existe magnetita y pirita. Cerca de las zonas donde se encuentran los cuerpos minerales, las andesitas no conservan la estructura primaria. Frecuentemente se transforman en un agregado clorito-carbonatado que contiene cuarzo, pirita y albita.

Las diabasas también forman cuerpos de sillares y se distribuyen tanto en la parte inferior como en la superior del perfil de las rocas vulcanógenas. Un cuerpo de diabasa aflora en la cuenca del río El Cobre y en un arroyo al este de Mina Grande. El segundo cuerpo de diabasas fue mapeado por los autores en el flanco oeste de la mina nombrada "Mina Blanca". Las diabasas componentes de los cuerpos indicados, yacen en dirección nordeste con una inclinación noroeste en un ángulo de 40-60°. Uno de ellos, el más oriental, se ha descubierto en el pozo 61 hasta una profundidad de 320 m. El segundo cuerpo, el occidental, no fue descubierto por pozos y su verdadero espesor no se ha determinado. Es muy característico que los cuerpos de diabasas se encuentran en los límites de zonas minerales tectónicas, pero se diferencian en que están mucho menos falladas que las tobas y los aglomerados. Ellos conservan su estructura primaria de diabasa y no contienen mineralización sulfida.

Los cuerpos de diabasas poseen una estructura zonal. La parte central de ellas frecuentemente aparece bien recrystalizada, y las zonas periféricas están compuestas por rocas de granos finos. La constante presencia de zonas donde las diabasas son más compactas en el contacto con las rocas encajantes, indica su origen intrusivo. A diferencia de los basaltos que se desarrollan al norte y al sur del yacimiento "El Cobre", las diabasas tienen una masa principal de pequeños granos y están sometidas a una considerable metamorfosis post-magmática. La plagioclasa en todas partes está desanortizada y el piroxeno es remplazado por clorita; siempre existen carbonato y minerales metálicos. Las alteraciones de estas rocas parece ser que están ligadas en cierta forma a fenómenos de autometamorfismo, pero en mayor medida se deben a la acción de soluciones hidrotermales.

Las dacitas se distribuyen en una extensión más considerable que lo que se estimaba anteriormente. Toda la parte superior del perfil de las sedimentaciones vulcanógenas en el yacimiento está compuesta por rocas más cercanas por su composición a las dacitas que a las andesitas.

Las dacitas también forman cuerpo de sillares, el cual se puede ver bien en el camino que lleva del pueblo El Cobre a Mina Grande. El contacto sur de este cuerpo pasa junto a la represa. El corta las sedimentaciones de rocas vulcanógenas de la base del paquete superior y se puede ver claramente en una extensión de más de 100 m. El contacto del muro colgante de las dacitas es intrusivo. Aquí los autores mapearon en las tobas un apófisis de dacitas en forma de dique (fig. 1). El cuerpo examinado está compuesto por dacitas macizas grises, las cuales poseen en las zonas de contacto una textura fluidal. La fluidez en las dacitas se determina por la presencia de fajas que se diferencian por el grado de recrystalización de la masa principal. En algunas partes de los cuerpos de dacitas se encuentran incrustaciones porfíricas de cuarzo, de plagioclasa y de espato potásico. En los lugares de mejor recrystalización se puede ver que la masa principal está compuesta de plagioclasa y cuarzo; en cantidades menores existen minerales de color oscuro y espato potásico.

Las dacitas están localizadas inmediatamente después de la parte central de la zona donde se encuentran los cuerpos minerales, por eso, al igual que las diabasas, poseen cambios hidrotermales. La masa principal en ellas está cuarcificada y sericitizada y en los minerales de color oscuro se desarrollan clorita y carbonato. También existen minerales metálicos.

Diques. En el yacimiento "El Cobre" están difundidos ampliamente los diques de composición andesítica y diabásica. Ellos atraviesan en forma evidente los intrusivos subvolcánicos de andesitas y dacitas y los autores los incluyen en la serie de pequeños intrusivos jóvenes.⁽⁸⁾ Las relaciones de edad entre los diques de diabasas y de andesitas no se han establecido, ya que ellos generalmente se encuentran aislados.

Los diques forman una faja bastante extensa y se encuentran en forma de cuerpos aislados que fundamentalmente coinciden con la zona de las fallas (figura 1).

Algunos diques de andesitas han sido mapeados por nosotros en la continuación de la zona minera nordeste de Alta en la margen derecha del río El Cobre. Estos

diques se han agrupado en dos bandas a lo largo de una de las cuales (la noroeste) se pueden notar manifestaciones hidrotermales. Las rocas de diques sometidas a la acción de soluciones hidrotermales, han sido remplazadas por clorita-carbonato y en algunos lugares cuarcificadas. Las estructuras primarias de ellas se conservan únicamente en la parte central de los cuerpos de más espesor.

Dentro de los límites de la faja sureste de diques las rocas componentes prácticamente no están alteradas; por su composición cuantitativo-mineral son muy cercanas a las andesitas, y se diferencian de las últimas por su elevado contenido de piroxeno.

Los diques de diabasas están más desarrollados en la parte noroeste del yacimiento. El dique mayor de estas rocas llena la zona tectónica de Gitanilla. Tiene una dirección sublatitudinal y con gran inclinación buza hacia el sur; con la misma dirección se prolonga hasta casi 400 m desde Gitanilla hasta Mina Grande. Las rocas de este dique sólo en algunas partes conservan la estructura característica de las diabasas, y la mayor parte presenta agregados de clorita-carbonato, en los cuales solamente se conservan por algunos lugares hojitas de plagioclasa sericitizada. En los contactos con las vetas de cuarzo las rocas del dique están cuarcificadas. Diabasas alteradas como éstas fueron mapeadas por los autores en la continuación nordeste de la zona minera central y al nordeste de la misma en el borde del camino El Cobre-Mina Grande (fig. 1).

Diabasas poco alteradas se encuentran en los escombros de pocillos de reconocimiento del yacimiento "Mina Blanca", y en los testigos del pozo No. 41, perforado en esta región. Estos diques, a diferencia de los de Gitanilla y otros, tienen menor espesor y extensión. Están compuestos por diabasas casi no alteradas, las cuales únicamente en algunos intervalos tienen finas vetas de composición carbonato-sulfida.

LAS FORMACIONES HIDROTERMALES Y SU LOCALIZACION

La mineralogía de la mina "El Cobre" y las metasomatitas que la acompañan no han sido estudiadas de una manera profunda. Entre los minerales primarios se han establecido los típicos cuarzo, clorita, epidota, calcita, yeso, pirita y calcopirita; más raramente se encuentran baritina, pirrotina, blenda y galena, las cuales se encuentran en vetas y vetitas y en forma de incrustaciones en complicadas zonas de vetas entrelazadas. Entre las rocas metamorfizadas hidrotermal-

mente se distinguen variedades cuarcificadas y cloritizadas.⁽³⁾

En la sistematización de las formaciones hidrotermales, frecuentemente se distinguen zonas minerales, diferenciadas por la estructura de los cuerpos minerales, sin tener en cuenta su composición y la de las metasomatitas cercanas al contacto. Así, Y. Bogdanov y otros autores⁽³⁾ distinguieron grandes zonas mineralizadas de fragmentación, vetas de cuarzo con sulfuros, zonas de incrustaciones y vetitas de mineral y zonas de trituración piritizadas.

Los materiales que obtuvimos durante el estudio de "El Cobre", evidencian que entre las formaciones hidrotermales de este yacimiento, se pueden separar dos grupos principales, que se diferencian por la composición de los cuerpos minerales, por su estructura y por las metasomatitas características cercanas al contacto:

1. Los cuerpos minerales filonianos y de zonas de vetas entrelazadas localizados en las rocas intermedias piroclásticas, en las cuales han causado cuarcificación y cloritización; los principales cuerpos minerales están formados por vetas y vetitas de cuarzo-sulfuros que contienen yeso. En los flancos de estos cuerpos desaparece la mineralización sulfurosa, y están representados por vetas de cuarzo sin minerales metálicos y de cuarzo y pirita.

2. Los cuerpos minerales de vetas entrelazadas localizados en tobas dacíticas, en dacitas, tufitas, areniscas tobáceas, acompañados por metasomatitas, cercanas a las cuarcitas secundarias (zona norte del yacimiento "El Cobre"). En los cuerpos minerales de este tipo no se ha encontrado mineralización industrial de cobre. Ellos se encuentran en las zonas de fallas y se extienden en dirección sublatitudinal al oeste de Mina Grande, a una distancia de más de 1 km. En la superficie están representados por agregados ocrosos de cuarzo y de minerales arcillosos, en los cuales se encuentran, en algunos lugares, drusas de cuarzo bien formadas y pseudomorfosis de limonita en pirita. En las escombreras de pocillos de reconocimiento, apreciamos rocas ácidas primarias y variedades cuarcificadas y sericitizadas que contienen minerales arcillosos, los cuales, según parece, son las rocas del mineral.

En la localización en el espacio de los dos grupos de formaciones hidrotermales distinguidos por nosotros, se establece una regularidad precisa. Los cuerpos minerales del primer grupo resultaron estar localizados en las principales zonas de fallas, en la parte inferior del perfil de las rocas vulcanógenas del yacimiento, al mis-

mo tiempo que los del segundo grupo se distribuyen más arriba por el perfil en las zonas de pequeñas grietas, entre rocas más ácidas.

Los autores no poseen datos suficientes para hacer conclusiones acerca de la edad relativa de las formaciones minerales indicadas, por eso la explicación de la zonalidad observada en su localización no tiene un carácter específico. Tal zonalidad, por una parte puede estar determinada por el desarrollo de un proceso hidrotermal único en el espacio, pero por otra parte puede ser explicada por el crecimiento consecutivo de las estructuras agrietadas que encierran al mineral, que han ocurrido en el marco de un proceso de mineralización discontinuo y en varias etapas.

ESTRUCTURA DEL YACIMIENTO EL COBRE

Los plegamientos de la parte del yacimiento El Cobre tienen una estructura simple. Las rocas vulcanógeno-sedimentarias se encuentran en dirección nordeste y se inclinan hacia el noroeste con un ángulo de 35-60°. Los ángulos de inclinación de 50-60° son característicos para las partes que colindan con los cuerpos subvolcánicos y las inclinaciones menos acentuadas se encuentran más lejos de estas partes.

En calidad de elementos estructurales principales, la mayoría de los autores que han estudiado "El Cobre" distinguen los filones Norte y Sur y la falla transversal, que los atraviesa en la región Mina Grande.^(1, 3, 7, 8 y otros)

Nosotros, al igual que otros investigadores^(3, 7) pensamos que la distribución en el espacio y la estructura de las partes mineralizadas, fundamentalmente se determinan por su estructura agrietada, que depende esencialmente de la litología de las rocas.

En el esquema geólogo-estructural, adjunto al presente artículo, los autores distinguen complicadas zonas tectónicas mineralizadas y zonas de vetas entrelazadas que se diferencian por su contenido magmático y mineralógico. Donde fue imposible precisar su dirección, esas zonas se muestran con líneas de puntos en el esquema geológico adjunto.

Los autores no estimaron necesario dar a cada una de las vetas mapeadas o a las series cercanas un nombre especial y por eso las agruparon, hasta cierto punto condicionalmente, en varias zonas minerales de considerable tamaño: Norte, Central, Sur, Gitanilla, Flanco nordeste de la zona Alta y algunas zonas lineales de vetas entrelazadas.

Zona Norte de Fallas

Esta zona (fig. 1) posee una estructura complicada y se distingue claramente de las otras en el mapeo. En conjunto, está representada por una zona lineal de vetas entrelazadas, en los límites de la cual se han desarrollado pequeñas grietas que tienen dirección nordeste (35-40°), están inclinadas al norte con ángulos de 40-80° y rellenas por venitas finas de cuarzo y pirita. La amplitud verdadera de esta zona no se ha establecido, ya que su pared colgante en gran parte del territorio está cubierta por los escombros de pocillos de reconocimiento y trabajos a cielo abierto, y también por sedimentaciones contemporáneas. Esta zona agrietada se observa al suroeste y al noroeste del yacimiento a una distancia de más de 1 km. Está formada por varios escalones que atraviesan diferentes rocas. En el flanco suroeste, uno de los escalones de la zona norte, en los sillares de diabasas, se encuentra representado por una serie de grietas finas que están rellenas por venitas de cuarzo, las cuales contienen carbonato y pirita. Cerca de estas grietas, las rocas encajantes están cloritizadas en un pequeño espesor (10-30 cm) y prácticamente conservan las estructuras primarias. Al pasar de las zonas agrietadas a las de tobas andesito-dacíticas y dacitas, el metamorfismo hidrotermal de las últimas se presenta intensivo; las rocas pierden las estructuras primarias y en ellas aparecen numerosas venitas finas de cuarzo con pirita, un poco de calcopirita, acompañados por una cuarcificación intensiva de las rocas encajantes y su piritización. Según los escombros de pocillos de reconocimiento y los testigos de los pozos, además de cuarzo metasomático, aquí se encuentran hidromicas y minerales arcillosos. Estas rocas alteradas son análogas a las llamadas cuarcitas secundarias de muchas regiones volcánicas y exigen investigaciones petrográficas especiales y de otra índole.

El flanco nordeste de la zona Norte, dentro de los límites del yacimiento, se encuentra en las sedimentaciones tobáceas estratificadas. En este caso, además de las grietas de pendiente brusca, en ellas se desarrollaron ampliamente roturas "lit par lit". Las rocas conservan las estructuras primarias, aunque al igual que las tobas de andesitas-dacitas, están intensamente metamorfozadas, cuarcificadas, sericitizadas y piritizadas; en la superficie de estas rocas, se encuentran pequeños nidos de minerales secundarios de cobre y relictos de pirita. No se ha encontrado mineralización industrial de cobre. Para las conclusiones finales sobre las perspectivas de la zona Norte en cobre y otros elementos, nosotros estimamos que es imprescindible realizar tra-

bajos geólogo-geofísicos complementarios y también perforaciones.

Zona Central de Fallas

Es la zona más grande del yacimiento. En muchos trabajos realizados anteriormente esta zona es nombrada Filón Norte.

La zona central por su estructura es una zona lineal de venas entrelazadas, en la cual, además de infinidad de venillas y pequeñas venas cuarzo-sulfúridas, se distinguen varias zonas de vetas de mayor tamaño y extensión.

Como se puede ver en el esquema, la amplitud de esta zona de fallas no es constante, y cambia desde 20-40 hasta 100 m. Dentro de sus límites se distinguen varios lugares donde sólo se aprecian aisladas venas de cuarzo y sulfúridas con un espesor de 10-20 cm, intercambiándose en su dirección con complicadas zonas de venas entrelazadas, en las cuales aumenta considerablemente la cantidad de venitas y vetas de minerales metálicos y aparece la mineralización por incrustaciones.

La zona central de fallas tiene una dirección común, nordeste ($55-60^\circ$) y se inclina bruscamente hacia el sur. Tal dirección e inclinación es característica para las venas principales cuarzo-sulfurosas que forman esta zona. Al mismo tiempo dentro de sus límites se encuentran también numerosas venitas que tienen otra orientación (fig. 1).

En el flanco suroeste, la zona filoniana central se une con la norte y en los lugares de conjunción forman una complicada zona de venas entrelazadas en la cual se distinguen claramente venas de cuarzo y cuarzo-sulfurosas de direcciones sublatitudinal y nordeste (30°). El espesor de tales venas alcanza 1.5-2 m. En el espacio existente entre las venas, se han desarrollado venitas de la misma composición. Las rocas dentro de las zonas de venas entrelazadas están cuarcificadas y cloritizadas, y han perdido las estructuras primarias.

En su dirección las venas indicadas disminuyen de espesor al nordeste y se agrupan en tres campos aislados, dentro de los cuales las rocas se conservan sin alteración. En los lugares donde la zona Central de fallas es cortada por la falla transversal, se forma una complicada zona de venas entrelazadas, la cual está dividida por esta falla en dos partes, diferenciadas por su estructura (fig. 1). A ambos lados de la falla se conservan las ya antes mencionadas 3 más grandes suturas tectónicas, rellenas por venas de cuarzo de

sulfúridas. En los espacios entre las venas también hay venitas de cuarzo y sulfúridas, y mineralización de incrustaciones.

Al nordeste de la falla transversal, la zona central atraviesa las ignimbritas de dacitas y las dacitas, donde se divide en varias venas aisladas de cuarzo que desaparecen a corta distancia. En el flanco nordeste del yacimiento, en la zona central, se localizaron un intrusivo subvolcánico y un dique de diabasas, los que tienen la misma orientación que las venas de cuarzo. Los contactos de estos cuerpos magmáticos están quebrantados y en su cercanía sólo se encuentran venitas de composición cuarzo-sulfúridas. Las rocas están débilmente cuarcificadas y cloritizadas.

La zona Sur de las fallas mantiene una dirección nordeste ($60-80^\circ$) en toda su extensión y se inclina bruscamente hacia el sur. Esta zona está formada por numerosas venas cuarzo-sulfúridas y venillas, acompañadas de incrustaciones minerales. En el flanco suroeste de Mina Blanca se mapearon varias vetas de cuarzo-sulfúridas de un espesor de 25-30 cm cada una. Estas vetas se extienden en dirección nordeste (70°) y se inclinan bruscamente hacia el sur ($80-85^\circ$). Al oeste de Mina Blanca, entre las tobas dacíticas y las dacitas, estas venas se encuentran en forma de finas venillas de cuarzo, las cuales casi no contienen mineralización sulfúrida y se acompañan de un débil metamorfismo de las rocas vecinas. En el flanco nordeste de Mina Blanca, entre las tobas andesíticas, además de las grandes vetas cuarzo-sulfúridas, se encuentran también vetas finas con dirección próxima a la dirección de los meridianos, las cuales se inclinan al oeste ($30-60^\circ$), las que se acompañan de venillas con incrustaciones mineralizadas. En esta parte de la zona Sur y Central aparecen pequeñas venas y venillas complementarias, las cuales en su totalidad forman la zona lineal de vetas entrecruzadas de Mina Blanca. La amplitud de la zona de vetas entrecruzadas en esta parte alcanza 50-60 m con una extensión de 200 m. En el pozo 41 el intervalo comprendido de las profundidades de 380-480 m, está cubierto por minerales calcopiríticos primarios especialmente de textura brechosa acompañada de una intensa cloritización de las tobas andesíticas encajantes. A medida que nos alejamos de la zona mineralizada, disminuye el grado de cloritización de las rocas y la cantidad de los minerales metálicos.

Al nordeste de Mina Blanca, la zona Sur presenta una estructura simple y está formada por vetas cuarzo-sulfúridas aisladas de pequeño espesor. La complejidad de la estructura de la zona Sur se acrecenta a medida

que se aproxima a la falla transversal. En la región situada al Suroeste de la mina a cielo abierto, donde en un pozo del antiguo laboreo minero se conserva una volqueta, que en lo sucesivo denominaremos Mina Volqueta, se puede ver bien la estructura de la zona de vetas entrecruzadas de esta parte. Aquí además de las vetas de dirección nordeste, aparecen vetas y venillas con dirección próxima a la dirección de los meridianos y longitudinales, las cuales se inclinan preferentemente hacia el norte. En el espacio entre las vetas se han desarrollado ampliamente las brechas y los minerales de venillas e incrustaciones. El límite entre la zona Sur y la Central no se encuentra bien determinado; entre ambas zonas existen grietas diagonales complementarias rellenas de vetas de cuarzo-sulfido y venillas (fig. 1). Al nordeste de la falla transversal la estructura de la zona Sur se puede observar sólo en los extremos de la mina de cielo abierto, Mina Grande, donde es una parte componente de la zona mineralizada de vetas entrecruzadas. En sus límites se distinguen algunas vetas grandes de cuarzo-sulfidos cerca de las cuales se han desarrollado ampliamente las brechas mineralizadas y la mineralización de venillas incrustadas.

Al este de Mina Grande la zona Sur se acuña, uniéndose a la zona minera Gitanilla, y al sureste de ésta sólo aparece en forma de venillas finas de cuarzo, las cuales no contienen mineralización sulfida.

La zona minera Gitanilla presenta una dirección casi longitudinal y en su totalidad se inclina bruscamente hacia el sur (80-85°). A diferencia de otras zonas de vetas, para la estructura de la zona Gitanilla, es característica y está claramente manifestada la estructura lineal de grietas complicadas, sólo en los flancos este y oeste, donde ésta se une a las zonas Central y zona Sur y zona Alta, se hace más compleja. La zona Gitanilla se puede observar bien en las orillas del río El Cobre, donde se aprecia su estructura. Aquí nosotros mapeamos un dique de diabasas alteradas cuyos contactos se encuentran dislocados. Al lado del dique, fundamentalmente al norte de él, se encuentran desarrolladas las venas de cuarzo y numerosas venillas de drusas de cuarzo, las cuales casi no contienen mineralización sulfida. La cantidad de venillas, a medida que se aleja del dique de diabasas, disminuye conjuntamente con su espesor. La cloritización y la cuarcificación de las rocas se encuentran difundidas más intensamente en el parte central de la zona. A medida que van desapareciendo las vetas y las venillas, disminuye el grado de metamorfismo hidrotermal de las rocas. En el flanco este, la zona Gitanilla está represen-

tada por dos vetas cuarzo-sulfidas, desarrolladas cerca de los cortes tectónicos. En esta parte la zona tectónica de dirección nordeste (60°) es una continuación natural de la zona Alta.⁽³⁾

En la parte de unión están desarrollados diques de diabasas y andesitas cuyos contactos también se encuentran quebrantados. Al nordeste de la zona de diques y en el interior de éste, fueron mapeados vetas y venillas con huellas de sulfuros lixiviados y con limonitas, los que forman una zona lineal de vetas entrecruzadas (fig. 1). La mineralización sulfida primaria no se encuentra en la superficie de esta zona. En los pozos perforados no se encontró mineralización industrial. En los informes geológicos^(1, 7, 3) se indica, que en la galería que pasa por la zona de Gitanilla, a nivel del río El Cobre, se encontró un cuerpo mineral con posibilidades, cuya explotación no se realizó debido al gran torrente del agua.

En el flanco oeste, a medida que se acerca a las zonas Central y Sur, la zona Gitanilla se divide en varias vetas aisladas, las que poseen una extensión casi longitudinal. La Sur, la más grande de ellas, se encuentra en la región Mina Grande y sin duda deja sus huellas en la estructura de la zona minera de vetas entrecruzadas. En la zona Gitanilla se establece un desplazamiento de rocas; al norte de ésta, en la región Pozo Verde y Lechuza, se mapeó un horizonte de estratos de rocas tobáceo-sedimentarias, el cual es la base de la capa superior de ignimbritas. Este horizonte está dislocado por elementos tectónicos de la zona Gitanilla que no se aprecian al sur de ésta (fig. 1). El análisis estructural demuestra que una estructura semejante de los estratos indicados, sólo es posible en caso de que la elevación del bloque sur, en la zona Gitanilla, tenga una amplitud de no menos de 200 m.

Debido a que las vetas y venillas cuarzosas-sulfidas Mina Grande y Gitanilla no presentan huellas de un movimiento tectónico considerable (ellos conservan una textura de drusas no quebrantada), se puede concluir que los desplazamientos indicados ocurrieron en un tiempo anterior a la mineralización.

El flanco nordeste de la zona Alta está representado por una zona agrietada compleja rellena por diques de andesitas y de vetas y venillas cuarzo-sulfidas de poco espesor, las cuales tienen una dirección nordeste y buzan bruscamente hacia el sur.

Esta zona de fallas es la continuación nordeste de la zona Alta, y en algunas partes estaba descubierta por pozos de sondeos y por socavones. Teniendo en cuenta

los escombros de los laboreos indicados, esta zona no representa ningún interés industrial debido al poco espesor y extensión de sus vetas.

Las zonas de grietas pequeñas de dirección nordeste ($30-50^\circ$ y $70-80^\circ$) fueron mapeadas al sur de las zonas mineras Central y Sur. Ellas poseen frecuentemente una extensión pequeña (de 10-15 m hasta 100 m), con un espesor de las venillas cuarzo-sulfidas de varios cm, raramente hasta 15-20 cm. Las tobas andesíticas encajantes y los aglomerados de pequeños clastos están en contacto con vetas de débil cuarcificación y cloritización. La mineralización sulfida no existe, raramente se encuentran huellas de piritita lixiviada. En una de estas zonas de grietas se mapeó un dique de diabasas no alteradas (región de Miña Blanca). Esta zona minera no tiene interés industrial.

La falla transversal se ve muy bien en la mina a cielo abierto en Mina Grande y se encuentra reflejada en todos los esquemas geológicos de El Cobre.^(3, 7 y otros) Ella tiene una dirección próxima a la dirección de los meridianos (ver fig. 1) y está formada por varias dislocaciones tectónicas a lo largo de las cuales se desarrollan vetas cuarzo-sulfidas pobres; esta pobreza está justificada por su formación ulterior.^(7, 3)

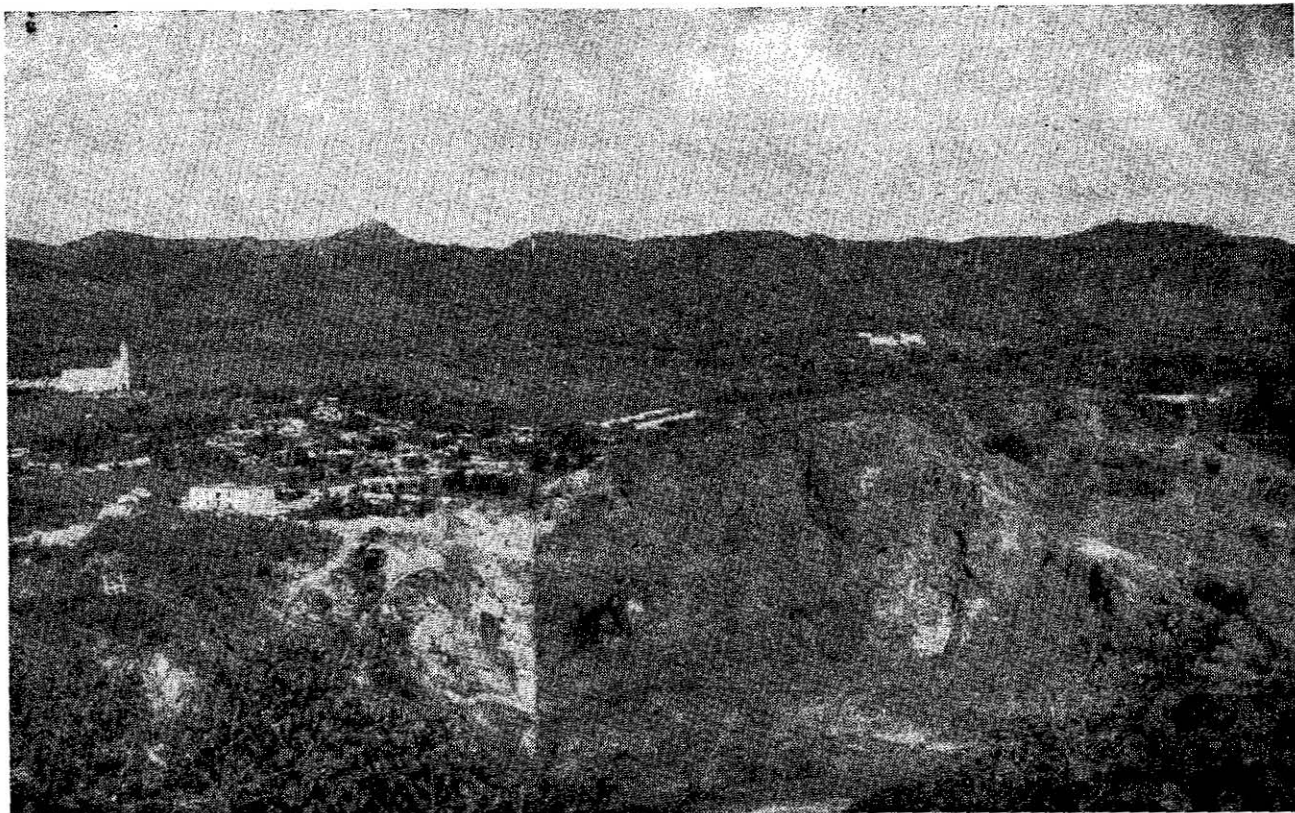
Durante el mapeo se estableció que la falla transversal no desplaza a las zonas Central y Sur, debido a que a ambos lados de esta falla, las estructuras de las zonas indicadas son iguales. En los cortes transversales no se ve desplazamiento de las vetas cuarzo-sulfidas. Esto se puede ver bien, por ejemplo, en una que se encuentra situada en la mina a cielo abierto Mina Grande. Aquí los cortes tectónicos de la falla transversal están acompañados de vetas cuarcificadas, relacionadas con la veta cuarzo-sulfida más grande (de la zona Central), que tiene una dirección nordeste. En la parte de unión, las rocas encajantes se encuentran quebrantadas y cementadas por venillas cuarzo-sulfidas, acompañadas de una intensiva cuarcificación y cloritización de las rocas. No se distinguen los desplazamientos post-minerales de esta veta por medio de las fallas transversales. Es posible, que en algunos cortes (en la región de la mina Volqueta) hubieron manifestaciones de desplazamientos post-minerales; teniendo en cuenta la situación de las vetas minerales de la zona Sur, estos desplazamientos apenas pasaron de 10-25 m.

Además de la falla transversal, al nordeste de Mina Grande, se encuentran desarrolladas pequeñas vetas cuarzo-sulfidas, que tienen también una dirección próxima a la dirección de los meridianos. Al sur de la mina a cielo abierto, en el valle del arroyo Mineral, en su

continuación, nosotros mapeamos diques de diabasas, que tienen una misma orientación. En el esquema (figura 1) se puede ver bien que la zona de la llamada falla transversal es la más evidenciada de todas y posee un mayor espesor (cerca de 100 m) en el lugar de su cruce con las zonas Central y Sur. A medida que nos alejamos de esta zona, los cortes tectónicos de esta falla y las vetas cuarcificadas que la rellenan, se acunian a corta distancia (60-100 m) y no se mapean en la parte divisoria de las aguas de Mina Loma al norte de El Cobre.

Teniendo en cuenta el rellenamiento de las grietas, nosotros concluimos que la falla transversal yacía en un tiempo anterior a la mineralización (en algunos lugares de ella estaba rellena de diques) y fue renovada en el período de formación mineral, lo que mayormente ayudó al surgimiento de una situación estructural favorable en la parte de localización del cuerpo mineral principal Mina Grande. Para la descripción de los elementos principales de la estructura del yacimiento El Cobre nosotros distinguimos más arriba las zonas lineales de vetas entrecruzadas, formadas en los lugares de cruce y de unión de las fallas, orientadas en distintas direcciones. Las zonas de vetas entrecruzadas Mina Grande y Mina Blanca, sirvieron en lo fundamental, de objetivos principales de explotación durante el período de trabajo de la industria "El Cobre", y esto se observa claramente en los materiales de otros investigadores y en los resultados de trabajos modernos de perforación. Los cuerpos típicos de vetas jugaron un papel de colaboración en la realización de estos trabajos. En el interior de la zona de vetas entrecruzadas, los minerales más ricos se encuentran localizados en las zonas Central y Sur, y los más pobres en los espacios entre las vetas.⁽³⁾ En la mina a cielo abierto y en núcleos de pozos se ve bien que estos minerales están concentrados en brechas y en vetas grandes, que se formaron en medio de un intensivo dislocamiento de las rocas piroclásticas. Los minerales simples y los pobres se encuentran distribuidos en la zona periférica de las vetas entrecruzadas. De manera característica a medida de que se va alejando de Mina Grande y Mina Blanca, la estructura de las zonas de vetas se hace más simple y también disminuye la cantidad de sulfuros.

A pesar de que no haya una determinación de los límites de las zonas minerales de vetas entrecruzadas, ellos se pueden trazar teniendo en cuenta las particularidades de la estructura, la cual se puede ver en el esquema indicado (fig. 1). Así, el límite nordeste de la zona de vetas entrecruzadas Mina Grande coincide



Vista general del yacimiento "El Cobre", en Oriente.

prácticamente con la posición de la zona tectónica Gitanilla. Se ha establecido por medio de los trabajos de perforación, que la mineralización no se extiende hacia el nordeste de la línea de intercepción con la zona mineralizada Central. Los límites noroeste y sureste de la zona de vetas entrecruzadas coinciden con las zonas Central y Sur y el suroeste con la falla transversal. Al oeste de esta falla los cuerpos minerales tienen una constitución de zonas de vetas entrecruzadas sólo en una longitud hasta 30-40 m de ésta. En dirección longitudinal los cuerpos minerales pasan por las vetas complicadas localizadas en las fallas. En su totalidad las zonas de vetas entrecruzadas tienen la forma de un triángulo asimétrico, cuyos lados tienen una longitud de casi 200-250 m. La mineralización de la zona de veta entrecruzada y de las vetas que se inclinan hacia el triángulo se desarrolla en aglomerados de pequeños clastos y en tobas andesíticas, que se extienden con dirección suroeste ($40-50^\circ$) y buzanan hacia el noroeste casi 40° (fig. 1). Comenzando a una profundidad de 100-200 m en el flanco sureste de la zona de vetas entrecruzadas, estas rocas se remplazan por lavas de andesitas amigdaloides, por aglomerados de grandes

fragmentos y por diabasas, las cuales también buzanan hacia el noroeste. De acuerdo con esto, en el flanco noroeste de la zona de vetas entrecruzadas, las rocas indicadas yacen a una profundidad de casi 300 m. Según los datos de R. Allende⁽¹⁾ y los resultados de los trabajos de perforación realizados en los últimos años por el ICRM, la mineralización calcopirítica industrial de la zona de vetas entrecruzadas de Mina Grande no se prolonga a grandes profundidades, lo que por lo visto está vinculado con la alteración de la litología de las rocas (tobas remplazadas por lavas).

La zona de vetas entrecruzadas de Mina Grande tiene una forma simple y alargada. Al suroeste, ésta se encuentra en los límites de las fallas Central y Norte, y al nordeste está en los límites de las zonas de grietas con dirección próxima a la dirección de los meridianos, rellenas por vetas cuarcificadas y venillas.

La longitud de estas vetas es de 200-220 m y de 10 hasta 40 m de amplitud. La parte Central de la zona de vetas entrecruzadas forma la zona mineralizada Sur la cual está manifestada en esta parte en forma de dos cortes tectónicos, que buzanan bruscamente hacia el

sur y están acompañadas por vetas cuarzo-sulfidas, de un espesor de 0,5-0,7 m. En los espacios entre las vetas y cerca de las mismas, las rocas se encuentran brechadas y cementadas por agregados cuarzo-sulfidos. En el pozo 41, a una profundidad de 380-480 m se atraviesa la brecha mineral. La brecha es el cemento de las venillas cuarzo-sulfidas de yeso y calcopiríticas y los fragmentos están representados por tobas andesíticas intensamente cloritizadas. Los mantos de lavas de andesitas y los sillares de diabasas (los minerales industriales de Mina Grande que limitan en la profundidad) en una parte de Mina Blanca se sumergen también hasta 500-600 m de la superficie (según su formación). De acuerdo con esto las perspectivas de la continuación de la mineralización en la región Mina Blanca se presenta favorable.

SOBRE EL CONTROL LITOLOGICO DE LA MINERALIZACION

Bogdanov y otros,⁽³⁾ en su artículo distinguieron el control litológico de la mineralización en El Cobre. Ellos indicaron, que son favorables para la precipitación mineral las rocas piroclásticas, las tobas y los aglomerados, y menos favorables los mantos de lavas y los cuerpos extrusivos de andesitas.

Los datos de los autores apoyan la manifestación del control litológico en El Cobre. Los que nos ayudan a vincularlo por una parte, con la influencia de las propiedades físico-mecánicas de las rocas que determina el surgimiento de estructuras favorables; y por otra parte con la diferencia de su composición química.

En el esquema geológico-estructural del yacimiento podemos observar que en el flanco oeste, la estructura de las zonas agrietadas de minerales encajantes (Norte, Central y Sur), cambia bruscamente. En la transición de las tobas andesíticas y de los aglomerados de pequeños clastos a sillares de diabasas tiene lugar una disminución visible del espesor y además un acunamiento a una pequeña distancia del contacto (3-10). En su extensión, en las diabasas indicadas anteriormente, las zonas minerales se continúan únicamente en forma de grietas finas, rellenas de venillas carbonatadas, cerca de las cuales se distingue una débil cloritización de las rocas.

En las tobas dacíticas, la zona Norte se encuentra visiblemente más evidenciada y forma una zona de vetas entrecruzadas lineal, en la cual están desarrolladas las venillas cuarzo-piríticas, acompañadas de una

intensiva cuarcificación y sericitización de las rocas encajantes.

En las tobas andesíticas y en los aglomerados de pequeños clastos en la región de Mina Grande y Mina Blanca, las zonas minerales Central y Sur forman una zona lineal complicada de vetas y zonas de vetas entrecruzadas isométricas, las cuales tienen un espesor máximo en las partes de unión de las fallas de diferentes dirección. En tales partes, en las rocas indicadas se encuentran localizados los principales cuerpos minerales de El Cobre. Aquí en las tobas es más intensa la cuarcificación y cloritización y también la mineralización incrustada. La amplitud de las zonas mineralizadas y de los metasomatitos es diez veces mayor que en las dacitas, sin referirnos aún a las diabasas de los sillares, donde la mineralización industrial no existe.

En el flanco nordeste de Mina Grande, en la transición de las zonas mineralizadas a la capa ignimbrítica, el espesor de las vetas disminuye bruscamente y en ellas desaparece la mineralización sulfida y además se acunian las mismas vetas. El metamorfismo hidrotermal en la ignimbritas y en las dacitas se manifiesta débilmente. Los primeros metros están compuestos por las zonas de cuarcificación y de cloritización.

Como ya se demostró, en Mina Grande la mineralización está establecida a una profundidad de no más de 250-300 m y está concentrada en un horizonte original productivo formado por tobas andesíticas. En la transición de las zonas minerales y de vetas entrecruzadas a mantos de lava andesíticos y sillares de diabasas desde la profundidad, disminuye bruscamente su espesor y desaparecen las acumulaciones calcopiríticas industriales. No se hace excepción de que en la parte inferior de este manto, entre los aglomerados de pequeños clastos, tobas y tufitas sea posible el hallazgo de nuevos cuerpos minerales, pertenecientes a otro "horizonte productivo", más profundo.

Las diferencias indicadas en la estructura de las zonas y de las particularidades de la distribución espacial de la mineralización industrial, indica evidentemente el papel importante de las propiedades físico-mecánicas de las rocas en la formación de las estructuras favorables para la precipitación del mineral. Se ha establecido, que la formación del mineral y el metasomatito casi mineral, se manifestaron más intensamente en las partes donde se desarrollaron ampliamente las zonas lineales de pequeñas grietas, brechas y una trituración casi agrietada de las rocas. Tales partes favorables se encuentran fundamentalmente entre las tobas y aglo-

merados de pequeños clastos; resultaron ser desfavorables las lavas andesíticas, los sillares de diabasas y dacitas, y también los mantos de ignimbritas y los quebrantamientos tectónicos, en los cuales se manifestaron débilmente.

Precisamente en esto, según la opinión de los autores, se evidenció el control litológico de la mineralización de El Cobre, partiendo del punto de vista de la influencia de las propiedades físico-mecánicas de las rocas. Mediante numerosas investigaciones de las tobas andesíticas realizadas en la URSS, se estableció que tienen frecuentemente una alta porosidad efectiva (de 5% hasta 20%), una considerable resistencia a la falla ($1000-3000 \text{ kg/cm}^2$) y el módulo de elasticidad ($2-5 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$). Al mismo tiempo las lavas andesíticas, las diabasas y las dacitas de los cuerpos subvolcánicos, al igual que las ignimbritas, se diferencian considerablemente de las tobas por tener una porosidad inferior y de una elevada solidez, lo que determina su papel desfavorable en la formación de las estructuras agrietadas propicias para la mineralización. En El Cobre también está manifestada la dependencia de la composición de las formaciones mineralizadas y los metasomatitos casi minerales de la composición de las rocas encajantes. Como se indica arriba, los dos grupos principales de cuerpos minerales referidos por nosotros, se encuentran localizados en rocas de diferente composición. La masa principal de las vetas industriales y de las zonas de vetas entrecruzadas, que se formaron por la mineralización yeso-sulfida y cuarzo-sulfida (con calcopirita), se encuentra concentrada en rocas medias (en tobas andesíticas), las cuales están cloritizadas y cuarcificadas en las zonas casi minerales. En las rocas más ácidas, tobas andesíticas y dacitas, y también entre las areniscas tobáceas, tufitas y tobas de cenizas, las cuales yacen en la parte superior del perfil, se han manifestado los metasomatitos del tipo de segundas cuarcitas en las cuales se ha desarrollado ampliamente la mineralización cuarzo-pirítica incrustada de venillas (la zona Norte). En las rocas básicas (diabasas) en los flancos suroeste y nordeste del yacimiento, la mineralización está débilmente manifestada y representada por venillas cuarzosas y piríticas, acompañadas por una cloritización de las rocas encajantes.

Ya nosotros señalamos que en estos momentos no se poseen datos sobre el carácter de intermitencia del proceso de formación del mineral en El Cobre, por eso la diferencia observada en la composición del mineral y de los metasomatitos se puede vincular con la influencia de la composición química de las rocas encajantes en el proceso de precipitación del mineral. No

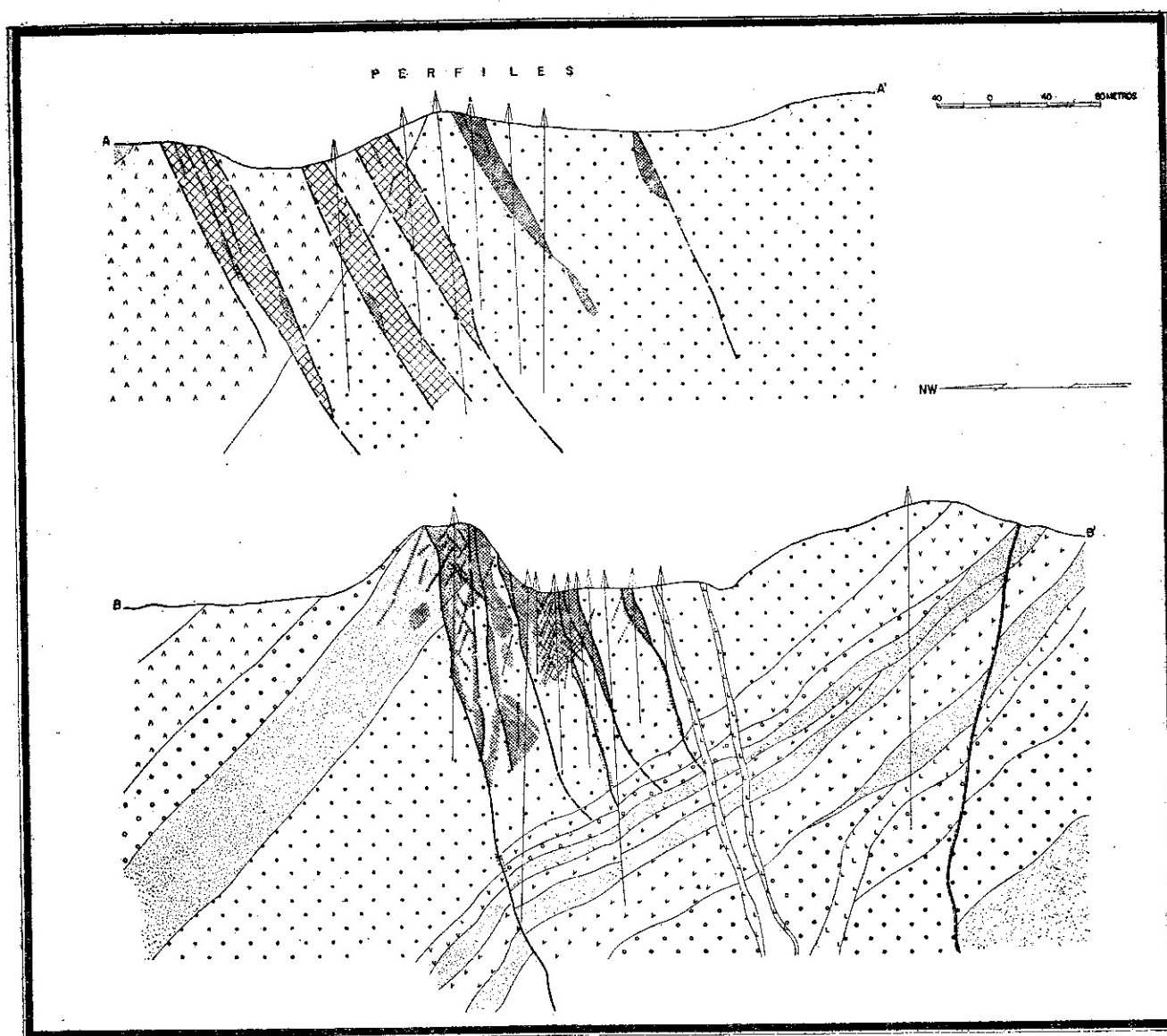
se exceptúa, que tal distribución regular (zonal) de los cuerpos minerales puede fundamentarse por su diferencia de edad. De esta manera se evidencia la llamada "estructura de zonación".

INTERRELACION DE EDAD DE LAS FORMACIONES HIDROTHERMALES CON LOS DIQUES

Los diques de andesitas y diabasas desarrollados en la región del yacimiento El Cobre, nosotros los incluimos en la serie de los pequeños intrusivos más jóvenes. Son los cuerpos intrusivos más jóvenes que intrusieron en la etapa final de la actividad magmática, evidentemente en el eoceno medio-superior (Laverov, Cabrera, 1965). Estos cuerpos se formaron después de la terminación de la actividad volcánica superficial y precisamente por eso el esclarecimiento de la relación de edad de las formaciones hidrotermales con ellos, no tiene una significación importante para las conclusiones sobre el tiempo de manifestación de los procesos de mineralización y su relación con los fenómenos volcánicos.

Los diques de diabasas y de andesitas se mapearon en los flancos de todas las manifestaciones minerales conocidas y en los de la zona de vetas entrecruzadas de Mina Grande y Mina Blanca. Sus interrelaciones de edad con las formaciones hidrotermales en todos los casos, se encuentran completamente definidas. La mineralización y su acompañante, los metasomatitos, son más jóvenes en relación con los diques, debido a que los atraviesan en forma de vetas finas y venillas, cerca de los cuales las rocas de los diques son hidrotermalmente alteradas y contienen un relleno de minerales. El cruce entre los diques y las venillas nosotros los observamos en las superficies y en núcleos del pozo, en los límites de la zona mineral Gitanilla, en los flancos nordeste de las zonas Central y Sur; en el muro colgante de la zona mineral Sur y en la región de la zona de vetas entrecruzadas de Mina Blanca. Las venillas minerales, que atraviesan los diques, no se diferencian por su composición mineral de las que forman los principales cuerpos minerales. Aunque es conveniente señalar que entre ellas predominan vetas y venillas de composiciones cuarcicas y cuarzo-sulfidas, las que contienen una pequeña cantidad de calcopirita, más característica aún en las partes de los flancos de los cuerpos minerales.

Las rocas de todos los diques (andesitas y diabasas), que se encuentran en contacto con la mineralización,



Perfiles del esquema geológico-estructural del yacimiento "El Cobre", a través de Mina Grande y Mina Blanca.
(Ver. Ap. Fig. 1-C).

con frecuencia están intensamente metamorfizadas por las soluciones hidrotermales. En la zona de contacto directo (en la zona exterior) están cuarcificados, sericitizados y piritizados, y en algunas partes también en zona exterior están cloritizados y carbonatados. En el metamorfismo hidrotermal de los diques, se manifiesta cierta zonación metasomática, la cual es característica de las tobas andesíticas mineralo-encajantes. Es conveniente señalar que los procesos metamórficos en los diques se manifiestan menos intensamente que en las rocas vulcanógenas clásticas, aunque éstas en su totalidad están comparadas con los diques que son carac-

terísticos para las rocas que componen los intrusivos en forma de sillares. La diferencia indicada en el grado de metamorfismo de las rocas vulcanógenas y los diques, por lo visto se determinan por sus diferentes propiedades físico-mecánicas, lo que indicamos anteriormente durante el análisis del control litológico de la mineralización.

Nosotros y otros investigadores no observamos formaciones hidrotermales cruzadas por diques, por eso con los datos anteriormente citados, sobre su interrelación nos indican definitivamente la edad más joven

de los cuerpos minerales en relación con los diques. De acuerdo con esto, es posible concluir que los procesos hidrotermales se verificaron después de haber terminado la actividad volcánica en la superficie y no están vinculados con ellas. Los cuerpos minerales son epigenéticos por su relación con todas las rocas magmáticas y se formaron en el período de consolidación del intrusivo diorítico de la Sierra Maestra,⁽⁹⁾ el cual no pudo servir de fuente de las disoluciones minerales. De este modo, nuestros datos están en contradicción con las conclusiones de Salton⁽³⁾ sobre el vínculo genético de la mineralización de El Cobre con este intrusivo, y también con la conclusión de Bogdanov y otros⁽³⁾ sobre la diferencia del vínculo paragenético de los cuerpos minerales con los intrusivos subvolcánicos cercanos por su edad a las rocas de la formación Cobre. Teniendo en cuenta la interrelación de las formaciones minerales con los diques, los procesos hidrotermales (que llegan a la mineralización) se verificaron después de la sedimentación de la formación San Luis,⁽⁸⁾ evidentemente en el eoceno superior. El vínculo indicado de los cuerpos minerales con los intrusivos subvolcánicos y los diques más jóvenes, es llamado el vínculo espacial acondicionador que coincide con una de las fallas de larga duración, que sirvió de camino para el desplazamiento, en la primera etapa, del material magmático, y en la última etapa de las disoluciones hidrotermales. El extinguido foco magmático fue la fuente de tales soluciones metalíferas. Las rocas magmáticas originadas por este foco son las que forman el complicado complejo paleoceno vulcano-plutónico.

ALGUNAS CUESTIONES SOBRE LA GENESIS DEL YACIMIENTO EL COBRE

Los trabajos que se han realizado sobre la estructura geológica del yacimiento El Cobre permiten que los autores expresen algunas opiniones sobre las condiciones de su formación. En primer lugar, sobre el tiempo en que aparecen los procesos de mineralización y sus relaciones con los fenómenos magmáticos, sobre las estructuras propicias o favorables, sobre las condiciones tectónicas de la sedimentación de los minerales, sobre el papel de las rocas encajantes y control litológico, sobre la profundidad de la formación de los cuerpos minerales industriales y sobre la orientación de los próximos trabajos de prospección.

1. Como se sabe, la interrelación de las formaciones hidrotermales con los cuerpos subvolcánicos y diques, los procesos de mineralización en El Cobre se manifestaron en la etapa final del desarrollo del eugeosinclinal cubano,⁽⁸⁾ en la terminación de la etapa de forma-

ción del complicado complejo paleoceno-eoceno vulcano-plutónico de las rocas magmáticas. Se les puede estudiar como el último eslabón en una cadena compleja de fenómenos magmáticos, éstos fueron citados en el último informe sobre la mineralización. El resto del foco magmático sirvió de fuente de las disoluciones mineralizadas, debido a lo cual se originó la introducción de las disoluciones en el proceso de la actividad volcánica que formaron los cuerpos intrusivos y diques. La coincidencia espacial de los cuerpos magmáticos más jóvenes y de las concentraciones minerales, se acondiciona a su concordancia con las dos grandes fallas de larga duración, que sirvieron de camino para el desplazamiento hacia la zona cercana a la superficie de la corteza terrestre de las fusiones magmáticas y de las soluciones mineralizadas.

2. El yacimiento El Cobre se encuentra en la zona que divide el sinclinorium oriental cubano y el anticlinorium Sierra Maestra.⁽⁸⁾ En este límite se encuentran grandes fallas de larga duración de dirección latitudinal y se extiende hasta los lugares donde estas fallas son atravesadas por las grietas transversales de dirección próxima a la dirección de los meridianos o noroeste. En estas partes se originaron zonas mineralizadas de vetas lineales entrecruzadas de complejas estructuras isométricas (Mina Grande, Mina Blanca, zona Central, Sur y otras), en las que se encuentran reunidas las principales concentraciones minerales.

Las vetas, las venitas y la incrustación de sulfidos, principalmente fueron formadas debido al relleno de las grietas descubiertas, de los vacíos y poros; los fenómenos metasomáticos en el depósito de los minerales jugaron un papel subalterno y aparecieron como alteraciones casi minerales de las rocas mineralo-encajantes.

Las estructuras metalíferas se limitan por la caída y levantamiento de las superficies inclinadas de los contactos de las ignimbritas masivas y de las diabasas. Aquí además de las cavidades de las grietas descubiertas, en el proceso de deposición de los minerales, jugaron un importante papel los contactos de las rocas que se han señalado. En caso de un posible mecanismo de disposición de minerales se puede suponer lo siguiente: en la filtración de las soluciones minerales poco estables en las rocas intensamente trituradas, originó una caída considerable de la presión que ayudó al quebrantamiento de la composición equilibrada de las soluciones y de su mineralización. Es muy probable que en este proceso las soluciones hayan sido influidas y desplazadas por las aguas fluviales, con las cuales

conjuntamente fueron saturadas las tobas porosas y quebradizas y los aglomerados. El amplio desarrollo en los minerales de yeso hipógeno puede servir como una indicación indirecta en este caso.

3. De las formaciones hidrotermales de El Cobre los autores destacaron 2 grupos, que se diferencian por la composición mineral de los cuerpos minerales, por su estructura y por el metasomatismo casi mineral. Con el primero se relacionan los principales cuerpos industriales (principalmente los calcopiríticos), que contienen yeso. Estos cuerpos se extienden entre las rocas medias clásticas y son acompañadas por su cuarcificación y cloritización. Con el segundo grupo se relacionan los cuerpos de vetas entrecruzadas (cuarzo-piríticas) de la zona norte, distribuidas en las tobas dacíticas, dacitas y areniscas tobáceas, están acompañadas por el metasomatismo, cercanas a las segundas cuarcitas, no estando acompañadas por mineralización de cobre primario.

En el desplazamiento de los cuerpos indicados se establece una regularidad precisa. Los cuerpos minerales del primer grupo se extienden en las rocas medias, intensamente quebrantadas desde la parte sur del perfil, y el segundo, en la parte más alta del perfil, en las rocas ácidas. De esta manera, en el desplazamiento de los cuerpos aparece una zonación vertical, cuya explicación todavía no se puede dar. Es posible que ella esté condicionada por el desarrollo del único proceso hidrotermal en el espacio. También puede ser explicada por la adición sucesiva de las estructuras agrietadas de las rocas mineralo-encajantes que se formaron en el fondo del proceso discontinuo de muchas etapas del proceso de la formación del mineral. Para dar una solución final a esta cuestión son necesarias investigaciones complementarias.

4. En la deposición de minerales en El Cobre fue claramente manifestado el papel de las rocas mineralo-encajantes, condicionado hacia el llamado "control litológico" de la mineralización. Las rocas piroclásticas, las tobas y los aglomerados de pequeños clastos, resultaron favorables para los minerales y menos favorables los mantos de lavas, los sillares e ignimbritas de andesitas y dacitas. El control litológico, por una parte, está vinculado a la influencia de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, que determinan el origen de las estructuras agrietadas favorables, y por otra, con las diferencias en su composición química. La influencia de la composición química de las rocas se manifestó en las variedades más ácidas de las partes superiores del perfil, donde se localizó la mineralización de

incrustaciones de venitas de cuarzo-pirita que acompañan las cuarcitas secundarias; al igual que en las rocas tobáceas subyacentes, fueron localizadas las zonas de vetas entrecruzadas de cuarzo-sulfido (las calcopiríticas) con mineral de yeso, acompañados de la cuarcificación y cloritización.

Los principales cuerpos minerales que se conocen actualmente, resultaron estar concentrados en el "horizonte productivo" original de tobas de alta porosidad (con una baja estabilidad en la falla) incluido entre las lavas masivas y las ignimbritas, los sillares de diabasas, andesitas y dacitas. Este horizonte está inclinado bajo un ángulo de 40-50 grados hacia el noroeste. Su superficie inferior en Mina Grande, se extiende a una profundidad de 200-300 m y en Mina Blanca 450-500 m. Es necesario decir que las perspectivas más favorables se encuentran en la profundidad del flanco occidental del yacimiento.

5. En el trabajo de los autores, dedicado a la Geología de los alrededores de El Cobre⁽⁸⁾ fue establecida una profundidad aproximada, en la cual se formaron las partes superiores de los cuerpos minerales industriales. Ella resultó estar cerca de los 1000 m. Los datos obtenidos en el estudio de la estructura del yacimiento, también indican su carácter casi superficial, que no contradice las conclusiones anteriormente hechas.

Los autores agradecen al Doctor A. Núñez Jiménez por el continuo interés y por su ayuda en el trabajo, también a A. Porro, V. Golovshenko y V. Mielnikov por la participación en la discusión de los resultados que se obtuvieron en el período de investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. Allende R., 1927
Boletín de Minas No. 11, Dirección de Montes y Minas.
2. Anstead, D. T., 1956
Quaternary Journal Geological Society of London, Proceedings.
3. Bogdanov, Y. V., Bogdanova, V. N., Miralles, N.
Estructura geológica del área del yacimiento El Cobre y sus posibilidades (Provincia de Oriente).
4. Emerson, E. N., 1918
Boletín de Minas No. 4. Dirección de Montes y Minas.
5. Lawrence, B. B., 1910
Journal of Canadian Mining Institute, Vol. XIII.
6. Lewis, G. E., Straczek, John A., 1955
Geology of South Central Oriente. U. S. Geological Survey.
7. A. Mesta Peeffer y Salton, 1961
Informe sobre posibilidades del yacimiento El Cobre.
8. Laverov, N. P. y R. Cabrera, 1965
Geología de los alrededores del yacimiento El Cobre y algunas cuestiones sobre su génesis.
9. Novojustki, I. P., 1964
Yacimientos de minerales útiles de Cuba. Manuscrito. Fondo del ICRM.