

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA

P R O Y E C T O

Sobre exploracion geologo-geofisica en esca-
la 1:10 000, en el area al norte del yacimiento -
"El Cobre".



Confeccionado por:

Jose Rodriguez Perez

SANTIAGO DE CUBA, OCTUBRE DE 1967

"AÑO DEL VIET NAM HEROICO"

R e s u m e n

En el proyecto se da una característica geológico-geofísica de la región del yacimiento "El Cobre". Se hace un análisis de todos los trabajos anteriormente aquí efectuados, sobre todo los de -- los últimos años; haciéndose hincapié en los trabajos geofísicos y en las propiedades físicas de las rocas y menas.

Además se recomienda la búsqueda en la parte norte del yacimiento, para lo cual se aconsejan -- los métodos del campo natural, magnetometría y polarización provocada, dándose las posibilidades y forma de utilización de dichos métodos.

En los últimos capítulos se enumeran los índices técnico-productivos, así como el equipo necesario para la ejecución del proyecto.

Introducción

El presente proyecto corresponde al trabajo de grado de fin de estudios, que es necesario presentar en la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad de Oriente.

Es bueno aclarar que este proyecto sobre exploración de búsqueda, geólogo-geofísica del área situada al norte del yacimiento "El Cobre", no representa un proyecto típico de producción, pues algunos capítulos han sido tratados en una amplitud mucho mayor de la usual en estos casos; no obstante debido a que el presente trabajo de grado corresponde a la carrera de Ingeniería Geológica y no a la de Ingeniería Geofísica, es que ampliamos aun -- mas los capítulos correspondientes a la geología de la región y del yacimiento "El Cobre". También hicimos una descripción un poco amplia de los métodos geofísicos recomendados o sea campo natural, magnetometría y polarización provocada, cosa esta que en los proyectos por lo general se sobreentiende que es ya conocida por el que lo -- aplicara.

Como ya se dijo, el área de los trabajos es la que -- se extiende al norte del yacimiento (vea anexo 2); sin -- embargo verdaderamente no creemos que esta sea el área -- mas perspectiva de la región; pero dado el caso de que en los otros flancos, o sea, el sur, este y oeste en la actualidad se están desarrollando trabajos de búsqueda en --

escala 1:10 000 por el ICRM, existiendo el proyecto correspondiente y unido al hecho de que no esta excluida del todo la posibilidad de que en esta area existan cuerpos meniferos, es que hemos confeccionado el presente proyecto.

Se debe decir tambien que casi todo este proyecto ha sido confeccionado en base a datos de la literatura existente sobre la region, tales como informes, proyectos, etc pues el poco tiempo de que disponiamos unido a la falta de recursos materiales nos imposibilito de realizar investigaciones por nuestra cuenta. El trabajo propio en el campo se limito a la observacion de la geologia de la region, - asi como de la aplicacion de algunos metodos geofisicos en el yacimiento "El Cobre".

Por ultimo quiero agradecer la valiosa ayuda prestada por el ingeniero sovietico A. I. Pajomov, el cual me oriento a lo largo de todos los trabajos en la preparacion del proyecto y en la descripcion de los metodos geofisicos a emplear. Ademas le estoy muy agradecido en general a todos los compañeros del ICRM y en especial a los compañeros A. Porro y al Lic. E. Escobar, por su cooperacion en la realizacion de este trabajo.

Santiago de Cuba, Octubre de 1967
"AÑO DEL VIET NAM HEROICO"

C a p i t u l o I

DATOS GENERALES SOBRE EL YACIMIENTO Y LA
REGION DE "EL COBRE"

1.- SITUACION GEOGRAFICO ADMINISTRATIVA.

La region del yacimiento "El Cobre" esta situada en la parte sur central de la provincia de Oriente, en el municipio de El Cobre.

El centro del yacimiento se encuentra al SE del poblado de El Cobre; las coordenadas, en el sistema Lambert, de Mina Grande son:

$$y = 593\ 250$$

$$x = 155\ 200$$

Las coordenadas de la zona donde deben efectuarse los nuevos trabajos detallados en escala 1:10 000 y que se encuentran detallados en el presente proyecto, son las siguientes:

$$y = 591\ 000 - 597\ 000$$

$$x = 156\ 550 - 158\ 050$$

Toda esta area se encuentra contenida en la plancheta 5076 III del mapa topografico de Cuba en escala 1:50 000.

2.- DATOS SOBRE EL TERRENO Y LA RED FLUVIAL.

La zona de los trabajos esta limitada por la ladera noroeste del macizo Gata que esta situado en la pendiente meridional de la parte central de la cordillera del Turquino.



Foto 1.- Vista parcial del poblado de El Cobre; al fondo se puede observar parte de la cordillera de El Cobre.

Al norte de la zona de los trabajos se encuentra la Sierra de Boniato, la cual forma parte también del macizo general.

La topografía de la zona donde se realizarán los trabajos al igual que la región en su totalidad está caracterizada por un ciclo joven del desarrollo geomorfológico; las cotas de la cordillera septentrional alcanza cotas de hasta casi 400 metros y la meridional (ya fuera fuera de la zona de los trabajos) de hasta más de 550 metros.

Las diferencias de elevación son de hasta 300 metros, siendo las pendientes de las elevaciones muy abruptas.

La zona de los trabajos está surcada por dos pequeños arroyos, o sea el Palmas y el Mergarejo ambos afluentes del río Cobre. Es bueno aclarar que en toda esta región no existen pantanos ni lagos que impidan la realización de observaciones sobre ellos.

3.- CLIMA Y VEGETACION.

El clima es caluroso sub-tropical, manteniendose la temperatura sin grandes variaciones durante todo el año; tampoco existen grandes variaciones entre las temperaturas diurnas y las nocturnas. El promedio de la temperatura anual en la region es de 25-26°C.

Las precipitaciones se corresponden con el tipo de clima,

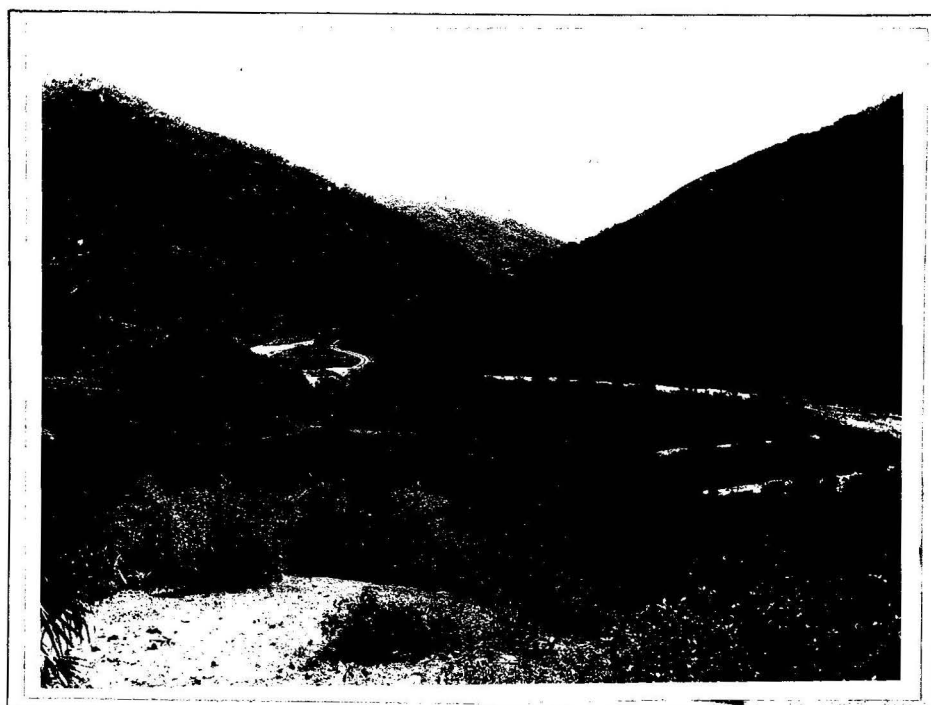


Foto 2.- Vista parcial del rio Cobre en la zona Gitanilla; notese la morfologia y el follaje.

no obstante aqui las lluvias son menores que en las zonas aleañas del norte. Como promedio anualmente caen en esta region unos 1500 mm. A veces las lluvias persisten continuamente por periodos de una semana y mas, en cuyas etapas es imposible la realizacion de trabajos de campo.

Los meses de mas precipitaciones son los de Mayo a Octubre.

La vegetacion en esta zona esta manifestada muy fuertemente, sobre todo en los valles de los arroyos y en las laderas de las lomas donde a veces esta es tan tupida que impide el paso y la realizacion de los trabajos topograficos sin la ejecucion de trochas.

Las plantas mas comunes son: marabu, almacigo, marañones, bejucos, guao, etc.

El mejor periodo para la realizacion de los trabajos de campo es a fines del otoño, invierno y a principios de la primavera.

4.- DATOS ECONOMICOS.

La principal rama economica de la region es la mineria siguiendole en orden la agricultura.

El punto poblado mas proximo al yacimiento lo es el pueblo de El Cobre, cabecera del municipio de su mismo nombre; tambien a solo unos 13 kilometros al SE se encuentra la ciudad de Santiago de Cuba.

La principal industria de la region es la planta de beneficio de minerales del yacimiento, no existiendo ninguna otra de importancia.

La zona es atravezada en toda su longitud por la Carretera Central existiendo ademas una red mas o menos densa de caminos de tierra aptos para el transito de vehiculos de motor en la temporada de la seca.



GRADO DE CONOCIMIENTO GEOLOGO-GEOFISICO DE LA
REGION DEL COBRE

Las primeras noticias que se tienen sobre el conocimiento geológico de la región de El Cobre datan de 1530 cuando los funcionarios reales Lope Hurtado y Hernando de Castro escribían al rey de España lo siguiente: "Sabra V. M. que ha muchos días que se sabe que a tres leguas de esta ciudad (Santiago de Cuba) estaba un cerro que se decía del cardenillo y hasta ahora nunca se había hecho experiencia de lo que tenía y en una nao que venia de Nueva España (Mexico) acerto a venir un maestro de hacer campanas y como supo del dicho cerro quiso ir a verlo, y visto, trujo algunas piedras de las cuales saco cobre...,etc."

No obstante de que hace cuatro siglos que se conoce la existencia del rico yacimiento de El Cobre y a pesar de haberse efectuado su explotación por gran cantidad de compañías procedentes de: Alemania, España, Francia, Inglaterra, Estados Unidos y nacionales; la exploración geológica detallada de la región ni se ha efectuado el cálculo de reservas del yacimiento en toda su extensión en una categoría confiable.

Los primeros datos con fundamento científico y técnico los encontramos en los informes de Diego Lopez de Quintana, Don Policarpo Cia y Anstead quienes visitaron el yacimiento en los años 1850-1855. Un extracto de estos informes se cita en el resumen de los yacimientos cupríferos de la Republica de Cuba

confeccionado por Roque de Allende en el año de 1927.

En ellos se mencionan datos de las profundidades de los laboreos, cantidad y calidad de las menas extraídas y particularidades de la estructura geológica del yacimiento.

En el año de 1856 Anstead compuso un esquema de las zonas minerales en escala 1:10 000 donde situo casi todos los sistemas de vetas mineralizadas conocidas en la actualidad.

Durante la explotación del yacimiento en los años de 1903-1918 ya existían nociones de la estructura geológica y su génesis, cercanas a las de hoy día. Según los datos de Edward H. Emerson (1918) "administrador principal", la mineralización de cobre pertenece a la zona de trituration que pasa generalmente entre las tobas y andesitas asociada genéticamente con intrusiones. Todos los diques él los relacionaba a las formaciones postmineralizadas. E. Emerson ha opinado que la zona de cementación está desarrollada hasta la profundidad de 60 metros.

De este período son las publicaciones de Tuttle y Lawrence, las que contienen datos de los trabajos mineros en el yacimiento El Cobre (Lawrence, 1910; Tuttle, 1911) Tuttle basándose en los datos de la extracción de las menas ricas (22%), llegó a concluir que la zona de cementación en ciertos casos había alcanzado la profundidad de 150 metros y hasta de 300-350 metros. Tuttle confeccionó también el plano de la disposición de las minas principales y túneles.

En el año de 1919 el ingeniero de minas Carlos Abespies visitó el yacimiento y llamó la atención sobre las perspectivas de la región en lo que a las búsquedas de cobre se refiere.

En los años de 1944-1945 al sur de la parte central de la provincia de Oriente G. Edward Lewis, John A. Straczek, Frank S. Simons, y otros efectuaron el levantamiento geológico en escala 1:50 000 con el objetivo de aclarar las perspectivas en lo que a yacimientos de manganeso en la region se refieren.

Los resultados de sus investigaciones los generalizaron en dos monografias: "Geologia del Sur de la parte Central de Oriente" (Lewis y Straczek, 1955) (en idioma ingles) /9/, y Geologia de los yacimientos de manganeso de Cuba (Simmons y Straczek, 1958) (en idioma ingles).

A la primera monografia se encuentra anexo el plano geologico esquematico del sur de la parte central de Oriente en escala 1:50 000 el que abarca un area de 1,850 kilometros cuadrados; formando un sector de 27 kilometros de ancho extendiendose en la direccion latitudinal por una distancia de unos 68 kilometros. En el centro se encuentra ubicada la poblacion de San Luis.

Esta obra presenta por primera vez una idea determinada de la estructura geologica de un extenso territorio de la provincia de Oriente. Los autores dan a conocer la estratigrafia, tectonica, la historia del desarrollo geologico de la region con datos detallados de la subdivision litologica y de las facies, asi como sobre las dislocaciones disyuntivas y las relaciones mutuas entre las rocas, con la argumentacion de la edad en base a materiales paleontologicos. En el mencionado plano geologico estan indicados los espesores sedimentarios con estructura monoclinas situados al noroeste de las rocas piro-

clásticas de la parte media de la formación Cobre con intrusiones de porfirita andesítica. En el área limitada por la bahía de Santiago de Cuba se destacan los depósitos del Mioceno Medio de la formación La Cruz que constan de areniscas, rocas arcillosas y calizas organógenas.

En los años 1956-1958 la Nicaro-Nikel Company efectuó los trabajos de revisión en el yacimiento El Cobre, dichos trabajos consistieron en examinar varias minas y zonas de mineralización en la profundidad por el método de perforación.

En el año de 1956 R. Beckett y E. Cordes confeccionaron el plano geológico esquemático de las manifestaciones en Mina Grande, en el cual situaron todas las vetas minerales conocidas. Sin embargo el plano está confeccionado en una base topográfica de mala calidad.

Durante los años de 1960-1961 en el yacimiento se efectuaron breves exploraciones por: Amado Mesta, H. W. Pfeffer y G. H. Salton; este último planteó la hipótesis de que el yacimiento estaba formado por una serie de bloques o peldaños. Presentan interés las deducciones de Pfeffer en lo que se refiere a la profundidad de la zona de cementación y de oxidación. Basándose en los datos de las perforaciones efectuadas en los años de 1960-1961 opino que la profundidad de la zona de cementación oscila entre 22 y 45 metros, siendo de 30 como promedio, y las zonas de oxidación y lixiviación será de 9 metros.

En el año de 1962 el geólogo checo Boda efectuó una exploración bastante breve. El calculó las reservas de la Mina La Volqueta y conjuntamente con el geólogo Edlitzka, confeccionó el proyecto para explorar la mineralización en forma de

vetas y disseminaciones en el bloque interfiloniano. Pero como mostraron los trabajos posteriores el proyecto quedo sin realizar a causa del insignificante contenido de Cu en el bloque interfiloniano. Aqui la mineralizacion se presenta en general por la pirita y solamente en algunas estructuras favorables en las menas de ese tipo se fija un contenido industrial de cobre.

A partir de la segunda mitad del año de 1962 la evaluacion del yacimiento El Cobre se efectua bajo la direccion de los geologos sovieticos M. Zhelkakov, V. N. Belostosky, A. V. Klimov, V. K. Golovchenko.

En el año de 1963 Y. Bogdanov, V. Bogdanova y M. Miralles efectuaron trabajos de busqueda geologica en la zona del yacimiento en escala 1:10 000 (11 Kms²) y en escala 1:2000 (0.8 Kms²) Como resultado fueron confeccionados los planos geologicos en la escala indicada, describieron detalladamente las zonas de mena, vetas, hicieron la descripcion de las formaciones estratigraficas, describieron detalladamente la litologia, estudiaron las alteraciones adyacentes, particularidades de las rocas encajantes, características sobre la cantidad y la calidad de la mineralizacion de Cu. Los autores aclaran el control de la mineralizacion por los factores tectonicos, litologicos, y magmaticos; asi como la relacion paragenetica de la mineralizacion con los diques de porfiritas y andesitas. La estructura del yacimiento ellos la consideran como formada por fallas y vetas originadas a medias profundidades y temperaturas. Se recomienda como zona perspectiva el area Alta. Tambien se dan los criterios de busqueda para las exploraciones futuras

Sobre todo en la segunda parte del informe se exponen materiales de control de unas manifestaciones de cobre en la region (se debe aclarar que el presente proyecto basa la mayor parte de su descripcion geologica en dicho informe).

En el año de 1965 los geologos de la Academia de Ciencias de la Union Sovietica, conjuntamente con la cooperacion del Instituto de Geologia de la Academia de Ciencias de Cuba/8/, efectuaron dos trabajos sobre el yacimiento El Cobre y la region cercana a este. Estos trabajos se encuentran en la revista de geologia de la Academia de Ciencias de Cuba. Año I No. 1.

En estos trabajos se hacen nuevas conclusiones y proposiciones sobre la estratigrafia de la region, se han descrito relaciones de edad del macizo dioritico de la Sierra Maestra con los sedimentos del Paleoceno (?) - Eoceno de la formacion Cobre. Ademas se han determinado y descrito detalladamente una serie de rocas acidas y se ha propuesto un nuevo esquema del desarrollo del magmatismo en el sur de Oriente; se han hecho conclusiones sobre los yacimientos hidrotermales y la estructura geologica de la region. Ademas en lo que al yacimiento El Cobre se refiere dan las regulaciones en el espacio de las vetas minerales y las zonas de veta y se describe la dependencia entre la litologia y la estructura con la mineralizacion.

Ultimamente durante el año 1966-1967 se ha efectuado por los geologos V. Golovchenko, V. Melnikov y E. Escobar distintos trabajos entre los que se encuentra el calculo de las reservas en el area de Mina Grande asi como el comienzo de la ampliacion de los estudios geologicos hacia la zona Oriental.

Sobre la ejecucion de trabajos geofisicos en el area de El Cobre no se tiene ningun conocimiento hasta despues del triunfo de la Revolucion.

En el año de 1961 en la parte sur de la provincia de Oriente fue realizado, con la cooperacion de un grupo de especialistas sovieticos, el levantamiento aeromagnetico del area. Los trabajos fueron efectuados a la escala de 1:50 000 con el fin de ubicar los yacimientos de magnetita del area.

Como resultado de los trabajos anteriormente descritos fueron reveladas una serie de zonas perspectivas para la busqueda de minerales de hierro. Los autores los cuales trabajaron en una serie de regiones de Cuba, reconocen que la Sierra Maestra es la region mas perspectiva para la busqueda de yacimientos de magnetita.

Las investigaciones geofisicas sistematicas en la region del yacimiento El Cobre, se comenzaron en el año de 1962, habiendose realizado hasta la fecha el levantamiento magnetometrico, el metodo del campo electrico natural y parcialmente el levantamiento gravitacional, todo esto en un area de 25 Kms². Conjuntamente se efectuaba el control de las anomalias por el metodo del cuerpo cargado.

En lo que a geofisica de pozos se refiere se puede decir que se ha trabajado ampliamente distintos metodos entre ellos los del carottage.

En la actualidad se continua el estudio sistematico del yacimiento El Cobre habiendose extendido el area de estudio a 15 Kms² mas.

ESTRUCTURA GEOLOGICA DE LA REGION

1.- SITUACION GEOLOGICA DE LOS ALREDEDORES Y DEL YACIMIENTO "EL COBRE"

Sobre la base de la regionalizacion tectonica propuesta por Y. M. Puscharovsky y otros /11/ la region citada abarca parte del anticlinorium Sierra Maestra y la parte sur del sinclinorium Este cubano. Las rocas de esta region forman la capa superior del piso estructural geosinclinal y representan una serie complicada vulcanogena sedimentaria del Paleoceno(?) - Eoceno, que esta atravesada por numerosos intrusivos y diques de rocas basicas, intermedias y acidas (ver anexo 1).

La parte central del anticlinorium, esta compuesta por enormes intrusiones semejantes a las batoliticas de dioritas-plagiogranitos, cuyos contactos estan inclinados hacia el norte. La parte sur del anticlinorium, actualmente esta cubierta por las aguas del Mar Caribe.

El sinclinorium Este cubano tiene una estructura asimetrica. La zona sur periferica de este sinclinorium, abarcada en parte por la region descrita, esta compuesta por rocas vulcanogeno-sedimentarias e intrusivas de las formaciones Vinent, Cobre, Charco Redondo y San Luis, las cuales tienen su espesor maximo en el sur de la zona periferica del sinclinorium. Segun se avanza hacia el norte, se produce una sustitucion gradual de rocas vulcanogenas por las sedimentarias desapareciendo los extrusivos y las intrusiones y diques. Esto fue muy bien determinado por G. E. Lewis y J. Straczek /9/.

Desde el punto de vista del analisis de las condiciones de lo

calizacion del yacimiento hidrotermal El Cobre, tiene razon distinguir como un elemento tectonico independiente, la zona de transicion entre el anticlinorium Sierra Maestra y el sinclinorium Este cubano.

A diferencia de los enormes elementos tectonicos anteriores para esta zona es muy caracteristico una gran movilidad en la etapa final del desarrollo del geosinclinal. Aqui se aprecia un plegamiento mas intenso de las rocas las cuales muestran flexuras lineales y numerosas fallas. Aqui mismo resultaron concentrados la inmensa mayoria de los cuerpos subvolcanicos de intrusiones pequeñas, pequeños diques de diferentes rocas y tambien se encuentran localizados los yacimientos hidrotermales de el Cobre y otras manifestaciones minerales (anexos 1 y 2). Tal situacion de la mineralizacion hidrotermal en la zona movable, lo mas probable es que este vinculada al desarrollo de grandes fallas de larga duracion, las cuales sirvieron como conducto hacia la superficie, no solo a las fusiones magmaticas, sino tambien a las soluciones hidrotermales, que sirvieron como fuente de los elementos minerales.

2.- ESTRATIGRAFIA DE LA REGION.

El problema de la estratigrafia de la region del Cobre ha sido desde que comenzo su estudio, un problema muy discutido por los distintos geologos que han trabajado en la region. El problema a delucidar es tanto lo que se refiere a la division de la region en distintas formaciones asi como en la asignacion de una edad determinada a dichas formaciones sobre todo a las dos inferiores.

Han existido investigadores, sobre todo los mas recientes,

entre ellos como por ejemplo N. P. Laverov /8/, los cuales agrupan dentro de la ya citada formacion Cobre la formacion Vinent y la formacion Charco Redondo; no obstante nosotros en la presente descripcion adoptaremos la forma tradicional (vea tabla 1).

El problema de la edad tambien ha sido muy discutido por - ejemplo algunos autores atribuyen a los primeros espesores de la formacion Cobre edad Cretacico Superior y otros refieren estos mismos espesores al Paleoceno o aun Eoceno, esto es causado principalmente por la escases de fosiles guias dentro de los espesores de estas formaciones y ademas por el fuerte metamorfismo de la -- formacion Vinent a la cual tampoco se le ha podido asignar una edad fija.

DESCRIPCION DE LAS FORMACIONES:

a) FORMACION VINENT.

Esta formacion segun se describe por P. Bermudez /2/ fue nombrada por Taber para distinguir las rocas con mineral de hierro que afloran en la vertiente sur de la Sierra Maestra y las lomas costeras.

El estudio de la formacion Vinent es muy dificultoso por el intenso metamorfismo producido por la intrusion de grandes masas de rocas cuarzo-dioriticas.

En esta formacion existen grandes cantidades de porfiritas y diabasas que se alternan con calizas, existiendo tambien tobas y otras rocas volcanicas muy metamorfizadas por las intrusiones de granitoides que intruyen en dicha formacion.

A la formacion se le atribuye la edad de Cretacico Medio o Superior. Keijzer, quien ha estudiado cuidadosamente la geologia de Oriente le atribuye una edad de pre-Cretacico Superior.

El espesor supuesto de la formacion es de unos 1500 ms.

b) FORMACION COBRE

Las rocas vulcanogeno-sedimentarias, incluidas en la formacion Cobre, forman la mayor parte del area abarcada en el esquema geologico adjunto (anexo 1). La litologia de estos sedimentos, ha sido descrita por G. Lewis y J. Straczek, /9/, Y. Bogdanov /3/ y otros investigadores principalmente en lo que se refiere en los alrededores del yacimiento el Cobre y hacia el norte de el, o sea hacia la parte superior de la formacion Cobre. El espesor de la formacion es de mas de 5 000 metros. La mayor cantidad de fauna data de la parte superior del corte la cual es aparentemente del Paleoceno (?) y Eoceno Medio (?) /9/. Tambien se dice que en la parte inferior del corte de esta formacion (caliza Cuabitas) se encuentran formas transitorias del Cretacico Superior al Paleoceno.

En la composicion de las rocas vulcanogeno-sedimentarias, se encuentran rocas piroclasticas, sedimentarias y mantos de lava que cambian su composicion desde dacita hasta basaltos.

Estas rocas se describiran en tres subformaciones que se diferencian entre si por su edad, composicion y condiciones de formacion. Aunque entre las subformaciones no se aprecian discordancias, sus limites estan perfectamente definicos. En cada una de las subformaciones, la parte inferior del corte esta formado por estratos vulcanogeno-sedimentarios, que tienen huellas claras de que los clastos han sido lavados; en estos estratos se distinguen areniscas, alevrolitas, tufitas y calizas. Mas arriba en el corte frecuentemente se distribuye sedimentacion piroclastica y lavas. En la separacion de la formacion Cobre, se ha tenido en cuenta que la acumulacion del material fino tufitico sedimentario coincidio en el tiempo con el amortiguamiento de

los fenómenos vulcanógenos y la acumulación de los piroclásticos gruesos y lavas con su activación. De este modo, las subformaciones distinguidas, reflejan en cierto grado las principales etapas de la historia de los fenómenos vulcanógenos en el sur de Oriente.

La composición de las rocas en las subformaciones se diferencia algo. También se observan cambios de facies en cada una de las subformaciones citadas, tanto por el corte como por su dirección.

PRIMERA SUBFORMACION:

S u b f o r m a c i o n S e c o (nombrada así por la localidad de Río Seco).

Esta formada en la parte inferior del corte, por rocas vulcanógeno-sedimentarias, las cuales están distribuidas en las cuencas de los ríos Seco, Congo, Paradas y Caimanes, en la orilla derecha de la bahía de Santiago.

Ha sido establecido que los sedimentos incluidos en la subformación Seco tienen una dirección noroeste ($40-70^{\circ}$) y la mayor parte está inclinada hacia el noreste ($10-70^{\circ}$). Ellos forman un corte continuo con los sedimentos suprayacentes, y se diferencian muy poco de ellos por sus particularidades litológicas. En la parte inferior del corte cerca de Marverde, se pueden ver bien tobas ácidas argilitizadas de color gris claro, las cuales se alternan en el corte con estratos de tufitas, areniscas tobáceas, tobas andesíticas y aglomerados. Mas arriba por el corte, en el valle del arroyo Congo, hacia el norte se observan algunos mantos de andesitas, dacitas y diabasas, las cuales junto con las tobas y los aglomerados, forman la parte media del perfil de la subformación Seco. En la cuenca del río Paradas, en la pendiente del camino se pueden ver bien las capas de estratificación cruzada de areniscas tobáceas, tobas ceneríticas argilitizadas, tobas

andesíticas y dacíticas y aglomerados que cubren los mantos de lavas. Estas rocas también tienen dirección noreste y buzan hacia el noroeste. En estos estratos se encuentran mantos de basalto no alterados. En la continuación de estos estratos en dirección noreste se mapean horizontes de calizas y de brechas calcáreas que forman el conocido lentil de Cuabitas, en los cuales se ha encontrado fauna que parece ser Cretácico Superior (?) o Paleoceno /9/.

Más arriba por el corte el horizonte de las rocas estratificadas se cambia por mantos de lavas de diabásas amigdaloides que se alternan con aglomerados y tobas de rocas básicas, para todo el corte de la subformación Seco, se verifica una alternación rítmica de fragmentos finos de tobas estratificadas y tufitas con mantos complicados de rocas básicas intermedias.

El límite inferior de la subformación Seco tal como se dijo al principio es discutible pues algunos lo consideran como la formación Vinent y otros más arriba. El espesor de esta formación es aproximadamente de 1 500 - 2 500 metros.

SEGUNDA SUBFORMACION:

S u b f o r m a c i o n E r m i t a ñ o (nombrada así por su localidad tipo o sea el Arroyo Ermitaño).

Las rocas vulcanogénico-sedimentarias de esta subformación, yacen concordantemente con los estratos de la subformación Seco. Esto se puede ver bien en la cuenca del río Paradas y al nordeste de la misma. En la base del corte de esta subformación, se distinguen con claridad las rocas tobáceo-sedimentarias estratificadas con capas intermedias de calizas y aglomerados. En el valle del Ermitaño fue encontrada por G. Lewis y J. Straczek /9/ y después por Y. Bogdanov y otros /3/ fauna del Paleoceno (?) - Eoceno. Como esta fau-

na fue recogida en los horizontes inferiores de la subformacion Ermitaño, se considera que la edad de esta subformacion en su totalidad no es anterior al Paleoceno.

Los perfiles de la subformacion Ermitaño no se caracterizan por su regularidad; para ella es muy característica la variacion facial de los estratos en distintas regiones, el estrechamiento de algunos horizontes en cortas distancias y los reemplazos mutuos de ellos en la misma direccion. En la parte noroeste de la region el espesor de los sedimentos de esta subformacion comprende 400-500 metros. Ellos estan representados principalmente por pequeños fragmentos aglomerados y por tobas andesiticas y basalticas, que contienen numerosos estratos delgados de tufitas y areniscas tobaceas. En estas rocas se manifiesta bien la estratificacion. Las facies de fragmentos gruesos juegan un rol subordinado. Los mantos de lavas de diabasas, se encuentran raramente y tienen poco espesor. Mas al oeste, el espesor de la subformacion Ermitaño crece hasta 600 metros. En ella aumenta la cantidad de aglomerados y aparecen estratos delgados de lava de diabasas y basaltos. En los estratos tobaceo-sedimentarios predominan las facies mas gruesas.

En el perfil norte-sur a traves del yacimiento El Cobre el espesor total de los sedimentos es de cerca de 1 000 metros. La composicion de las rocas y su rasgo facial cambia cambia esencialmente. Aqui en la parte inferior del perfil predominan aglomerados macizos de fragmentos gruesos y tobas andesiticas, que se encuentran atravesados por numerosos diques basalticos.

En el valle del rio Ermitaño en estos sedimentos yacen aglomerados con fragmentos pequeños, estratos de tobas y tufitas y areniscas con estratificacion cruzada, en los cuales tambien se encuentran mantos delgados de lavas y andesitas y diabasas.

En la parte superior de la subformacion Ermitaño en la region del yacimiento "El Cobre", ademas de los aglomerados y tobas de rocas intermedias aparecen mantos macizos de ignimbritas, de compo-dacitica, que contienen cuerpos de rocas acidas. Para todo el corte de direccion meridional a traves del yacimiento El Cobre es muy caracteristico el aumento de los fragmentos gruesos en los aglomerados; el surgimiento en la parte superior del corte de facies ignimbriticas de rocas mas acidas y tambien numeros mantos de lavas y sillares.

Mas al suroeste del yacimiento El Cobre el estrato inferior de la subformacion Ermitaño se encuentra atravesado por dioritas de la Sierra Maestra, y aun aqui su espesor conservado asciende a 1 200 metros. Una caracteristica de esta area es el aumento del papel que juegan las rocas acidas en el corte, las cuales forman no solo los estratos superiores, sino que tambien estan ampliamente desarrolladas en los estratos inferiores. Algunas de ellas sin duda estan relacionadas con los intrusivos subvolcanogenos y son mas jovenes que la subformacion Ermitaño; los mantos de ignimbritas probablemente pertenecen a esta subformacion.

TERCERA SUBFORMACION

S u b f o r m a c i o n S i e r r a d e B o n i a -
t o (nombrada asi por la Sierra de Boniato).

Esta formada por rocas vulcanogeno-sedimentarias en las cuales predominan tobas estratificadas de granos finos, se encuentran areniscas, tufitas y calizas, practicamente no existen mantos de lava. Los cuerpos basalticos que se presentan en esta subformacion, frecuentemente forman sillares que coinciden con las estructuras de cupulas.

Las rocas de esta subformacion yacen mas horizontalmente que las capas subyacentes (10° - 30°) pero sin una clara discordancia angular. La disminucion del angulo de buzamiento de los estratos ocurre gradualmente y las estructuras de plegamiento, aunque repiten las formas caracteristicas de las capas subyacentes, tienen en los flancos angulos menos acentuados. Durante el mapeo efectuado en esta region se notaron fenomenos que parecen corresponder a una discordancia, no obstante no existen suficientes datos como para afirmarlo. En el area el Cobre los estratos de Sierra Boniato se extienden en diferentes horizontes sobre la subformacion Ermitaño, lo que puede explicarse tanto por el estrechamiento y acuñaamiento facial de los estratos subyacentes como por la erosion de los mismos. En base de los datos que se poseen, la primera variante parece mas aceptada.

En las calizas de la parte inferior del corte de la subformacion Sierra de Boniato, G. Lewis y J. Straczek /9/ y otros investigadores reunieron incontables ejemplares de fauna de foraminiferos corales y otros que testifican sobre una edad Eocenica Inferior Media para estos sedimentos.

El espesor de la subformacion Sierra de Boniato tambien aumenta hacia el oeste (de 600-750 hasta 1500 metros), pero los cambios faciales de los sedimentos de esta subformacion, no se ven tan claramente como en los estratos de Ermitaño. Estos cambios se manifiestan en disminucion del material de clastos gruesos entre los aglomerados en direccion oeste, conjuntamente con el aumento del rol de las calizas y de las tufitas finamente estratificadas, El espesor total de la parte inferior del perfil de esta subformacion que contiene sedimentos con carbonatos claramente aumentan de este a oeste.

c) FORMACION CHARCO REDONDO

Esta formacion fue descrita por primera vez por Woodring y Daviess con el nombre de "Caliza Charco Redondo" y establecida como formacion por Bermudez. Toma el nombre de la villa y mina de Charco Redondo. Taber en 1934 y Laverov en 1966 consideran que esta formacion forma parte de la formacion Cobre sobre la cual descanza.

Esta formada por margas, calizas y tobas finamente estratificada (en otros lugares la caliza es masiva), las cuales en todos los lugares yacen sobre las rocas de la subformacion Sierra de Boniato y con poco declive ($5-20^{\circ}$) se inclinan hacia el norte. El espesor de los estratos en esta zona es de unos 10-30 metros aunque en la zona de Charco Redondo puede alcanzar hasta los 150 metros. Estos estratos estan formados por material calizo de clas-
tos finos, cuya sedimentacion ocurrio en la superficie aplanada de la subformacion Sierra de Boniato cuando los fenomenos vulcanogenos casi habian cesado. La edad de los estratos ha sido establecida como Eoceno Medio /2/.

d) FORMACION SAN LUIS

Fue descrita por primera vez por Stephen Taber. Esta formada por finos estratos de calizas, margas, areniscas con cemento carbonatado y tambien por el conglomerado Camarones. Las rocas de la formacion San Luis, yacen por toda la zona sobre las capas de la formacion Charco Redondo y en algunos lugares llenan pequeños bolsones y cuencas, cortando los limites de algunos estratos.

Los sedimentos de la formacion San Luis estan inclinados hacia el norte con un angulo de $5-20^{\circ}$ y forman la parte superior de

la serie geosinclinal unica , que comienza en los estratos inferiores de la formacion Cobre. La edad de las calizas San Luis esta determinada por incontables restos de fauna como del Eoceno Superior /9/.

En las rocas de esta formacion no existen estratos vulcanogenos, pero estan atravesados por diques aislados de basalto, que atestiguan sobre la continuacion de la actividad magmatica en el periodo de acumulacion de los sedimentos de la formacion San Luis. Esta formacion constituye las capas superiores del piso estructural geosinclinal /11/ que se formo en las condiciones de peniplano poco definido, cuando cesaron los fenomenos vulcanogenos superficiales y la elevacion Paleocenica-Eocenica Media de la Sierra Maestra practicamente fue erosionada. La superficie en la cual se verifico la acumulacion de rocas de la formacion San Luis tiene una ligera pendiente hacia el norte. En esto se establece una disminucion gradual del espesor de los sedimentos en direccion sur la cual a juzgar por la distribucion, lleva al estrechamiento de los mismos en la region de la cuesta norte de la Sierra Maestra. Estas conclusiones tienen una significacion importante para la definicion de la profundidad a la cual se verifico la formacion del yacimiento El Cobre.

Las sedimentaciones Oligocenicicas se encuentran mas al norte del limite del mapa geologico adjunto. Ellos en esa region forman el flanco sur de la depresion y yacen con discordancia angular sobre rocas mas viejas. Estas rocas pertenecen a la serie de sedimentaciones de semi-plataforma que forman un nuevo piso estructural "post-geosinclinal".

SEDIMENTOS NEOGENOS

Se encuentran en la costa sur (ver anexo 1). Ellos yacen en la superficie profundamente erosionada de dioritas y plagiogranitos del macizo de la Sierra Maestra y de los efusivos de la formacion Cobre.

Estan representados por calizas organogenas las cuales tienen poca inclinacion hacia el mar Caribe ($3-10^{\circ}$). Estas rocas no presentan ninguna huella de actividad magmatica o hidrotermal. En la region del rio Nimanima estos sedimentos recubren una mineralizacion de venillas y de incrustaciones de cuarzo y de pirita y contienen en los estratos basales pequeños fragmentos descompuestos de minerales metalicos.

SEDIMENTOS CUATERNARIOS

Estan ampliamente distribuidos en el area investigada y representados fundamentalmente por aluvion y deluvion.

3.-PLEGAMIENTOS Y FALLAS, ASI COMO LA TECTONICA EN GENERAL.

La estructura tectonica de la zona del yacimiento El Cobre se presenta bastante simple. En esta region, como ya fue citado, estan desarrolladas las rocas sedimentarias vulcanogenicas que yacen monoclinamente y forman el flanco noroeste de una gran estructura anticlinal. Las rocas se caracterizan por elementos continuos de yacencia los cuales fueron establecidos por una estratificacion horizontal bien manifiesta, sobre todo en las tobas de fragmentos medianos y finos. Aqui las rocas se caracterizan por una direccion hacia el nordeste ($40-60^{\circ}$) siendo el buzamiento hacia el N. O. bajo un angulo de $20-40^{\circ}$.

Mas ampliamente esta desarrolladas las rocas las cuales tie-

nen su azimut cercano a los 50° con un buzamiento de $30-40^{\circ}$. En algunos casos se encuentran rocas con direccion nordeste de $30-40^{\circ}$ y de $60-70^{\circ}$ siendo el buzamiento hacia el N. O. bajo angulos mas abruptos, raras veces se encuentra el buzamiento hacia el S E bajo un angulo de $45 - 50^{\circ}$. Estas divergencias de los elementos generales de yacencia estan condicionadas por las manifestaciones del plegamiento de menor orden que a menudo se desarrolla cerca de las intrusiones de porfirita andesitica. La amplitud de dichos pliegues es de 10-20 metros.

En las tobas de grano fino se observan a menudo contorsiones y pliegues discordantes pequeños con amplitud de varios centimetros; rara vez se observan amplitudes de 20 - 30 centimetros. Estos pliegues parecen ser se formaron en el periodo de la diagene-sis antes de la litificacion de las rocas. Las dislocaciones disyuntivas se manifiestan en forma de zonas comprimidas y de esquistosidad, zonas de fragmentacion, fallas y grietas.

Las zonas comprimidas y de esquistosidad se desarrollan en el espesor de tobas de fragmentos finos del Eoceno, en la parte noroccidental del area. Ellas tienen una direccion nordeste y los angulos del buzamiento son verticales o abruptos ($70-80^{\circ}$ al N.O.). La longitud de tales zonas alcanza 300 m y mas teniendo un espesor hasta de 100 metros.

La esquistosidad y el plegamiento de las rocas se desarrollan irregularmente. A veces en las zonas se encuentran bloques de rocas no sometidas a la esquistosidad.

En las zonas comprimidas y de esquistosidad se observa a menudo una diseminacion fina de pirita.

Las zonas de fragmentacion y las de grietas tienen una direccion nordeste rara vez latitudinal y otras siendo los angulos de

buzamiento verticales y abruptos. En las zonas de fragmentacion tiene lugar la formacion de brechas de algunas rocas sin desplazamientos notables de estas. La extension de tales zonas segun su direccion alcanza 1 Km, siendo la profundidad de mas de 500 metros y la anchura de 20 metros. Estas zonas estan mas desarrolladas en los paquetes de rocas piroclasticas. En las zonas de fragmentacion se localiza la mineralizacion de cobre.

Diques de porfiritas andesiticas y vetas de cuarzo y sulfuros estan asociados a las fracturas tectonicas.

Las fallas tienen una direccion noroeste y nordeste y los angulos de buzamiento son verticales y abruptos. A lo largo de ellas se observan espejos de deslizamientos grandes, arcilla de frotacion y estrias de deslizamiento. Las amplitudes observadas de desplazamientos miden varios metros y rara vez alcanzan algunas decenas de metros lo que conjuntamente con el caracter vertical de los desplazamientos de las rocas evita considerables desplazamientos horizontales.

Las fallas estan poco afloradas y se establecen con dificultades segun los afloramientos y principalmente en los cortes abiertos y laboreos mineros. Debido a la escasez de datos acerca de las amplitudes de los desplazamientos de las rocas y sus tamaños insignificantes, los desplazamientos de las rocas y sus tamaños no estan reflejados en el esquema geologico adjunto.

Mas claramente esta manifestada la falla principal que aflora en la pared occidental de la cantera Grande (vea foto). La direccion de esta falla es NNW ($330-340^{\circ}$) y el buzamiento es vertical. En la zona de la falla con espesor de 1-1.5 metros se observan rocas algo brechosas y una fractura tectonica con arcilla de frotacion. La falla se observa en una distancia de 250 metros. En

la parte meridional su direcccion varia y es noroeste ($290-300^{\circ}$).

Al sur de la falla principal se encuentra una falla de direcccion submeridional, siendo el buzamiento hacia el este y muy abrupto.

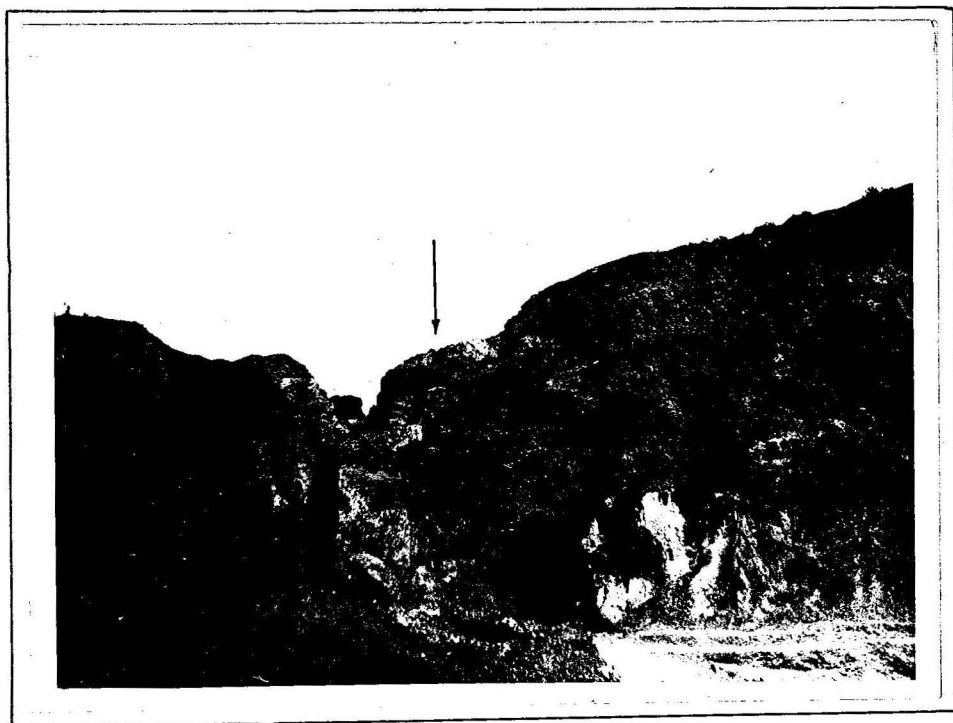


Foto 3.- Segun indica la flecha puede observarse una falla transversal, a lo largo de la cual se observa la mineralizacion de cobre.

Al norte de la falla principal se adhiere una de direcccion nordeste ($10-20^{\circ}$) que buza al SE bajo un angulo de $70-80^{\circ}$. Numerosas fallas se observan a lo largo de los contactos de las diferentes rocas. Sus longitudes alcanzan algunas decenas de metros, teniendo espesores de varios centimetros.

En la sona de transicion la amplitud de los desplazamientos por las fallas grandes (Boniato) (vea foto en la siguiente pagina) alcanza 400 metros y otros 150-200 metros (Pelado). Fundamentalmente los desplazamientos tienen caracter de falla normal y estan orientados en concordancia con la inclinacion de los estrechos ple-

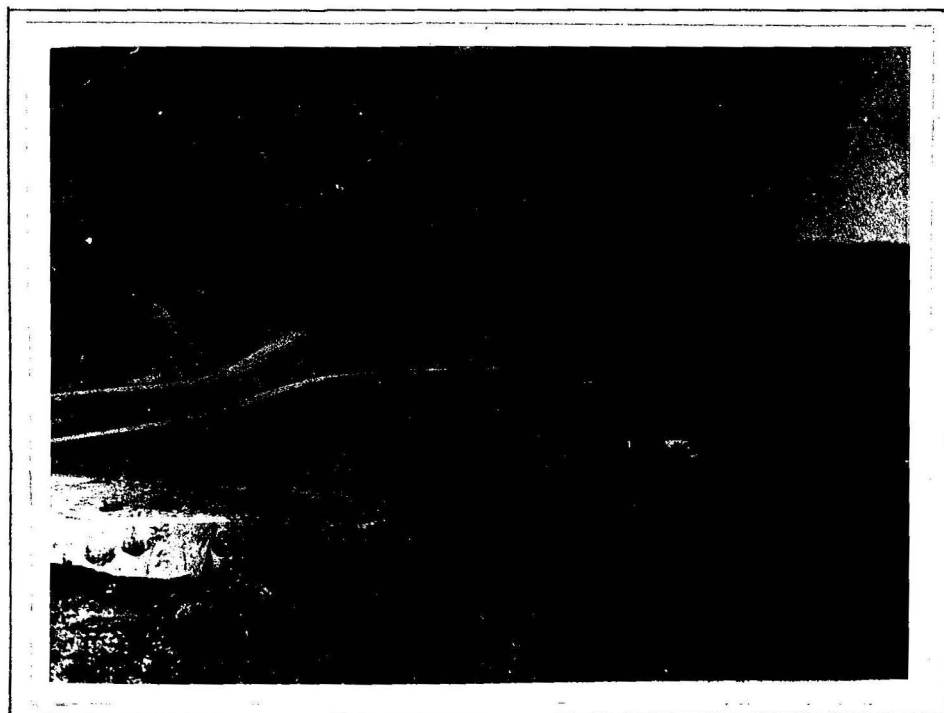


Foto 4.- En primer plano la planta de beneficio del Cobre;
al fondo puede apreciarse la conocida falla de
Boniato

gamientos lineales. En conjunto, en la zona de transición, los movimientos tectónicos están manifestados mucho más intensamente que en la zona de los sinclinales y anticlinales. Aquí además de las fallas grandes, se distribuyen más ampliamente las pequeñas grietas, orientadas en direcciones noreste y noroeste y también las fallas poco inclinadas del tipo "lit por lit" y aunque por ellas no se notan desplazamientos considerables, sirven de caja a la gran mayoría de cuerpos filonianos y de zonas de vetas entrelazadas.

En las dioritas y plagiogranitos del macizo Sierra Maestra, las grietas y las fallas más grandes tienen orientación noreste y noroeste y un buzamiento pendiente. Estas fallas frecuentemente están llenas por diques de distinta composición o están representa-

das por zonas de rocas fragmentadas y cataclásticas alteradas por soluciones hidrotermales y acompañadas de arcilla tectónica. Las fallas grandes con relleno hidrotermal tienen una dirección nordeste sublatitudinal y las pequeñas grietas y fisuras rellenas por diques de mineralización filoniana dirección nordeste submeridional.

Muchas de las fallas grandes, formadas anteriormente determinan el relieve actual (Pelado, El Cobre y otras) (vea foto 4), indudablemente tienen una larga historia geológica.

4.-ROCAS INTRUSIVAS

Los investigadores que durante décadas han estudiado la geología de la costa sur de Oriente y los alrededores del yacimiento "El Cobre" distinguen entre las rocas intrusivas dos grupos principales. En el más antiguo de ellos, que según las últimas investigaciones se supone del Cretácico Superior /2/, eran incluidos los grandes intrusivos batolíticos de la Sierra Maestra y en el más joven del Paleoceno-Eoceno los intrusivos subvolcánicos pequeños, los sill, los macizos intrusivos y los diques de rocas básicas e intermedias. Los fundamentos de tal división se dan en el libro de Geología de Cuba. Trabajos recientes como el de Laverov y otros /8/ adoptan la siguiente división:

I.- Intrusivos subvolcánicos, estrechamente vinculados con la formación Cobre (Paleoceno-Eoceno Medio)

II.- Grandes intrusivos de dioritas plagiogranitos y diques de aplitas, venas pegmatoides y rocas intermedias vinculadas con ellos (Eoceno).

III.- Pequeños intrusivos jóvenes de profundidad intermedia y subvolcánicos de rocas básicas, intermedias y ácidas (Eoceno Superior Medio).

En conjunto, estos intrusivos y rocas volcánicas de la formación Cobre, forman un complicado complejo vulcano-plutónico de edad Paleoceno-Eoceno. Este complejo fue formado en la etapa final del desarrollo del geosinclinal de Oriente y es la repercusión de una etapa muy importante en la formación de su estructura actual.

Los intrusivos volcánicos; sills, cupulas extrusivas y algunos diques de basaltos, diabasas, andesitas y dacitas, forman un grupo más antiguo, el cual está estrechamente vinculado con las sedimentaciones vulcanógenas de la formación Cobre. Estas rocas son más jóvenes que los aglomerados, tobas, areniscas tobáceas y tufitas encajantes; lo más probable es que fueran formadas en su mayoría en la etapa final de la actividad volcánica, cuando el espesor de los sedimentos piroclásticos era considerable y la formación de los mantos de lava en la superficie se dificultaba. Todos ellos atraviesan los sedimentos del Paleoceno(?) - Eoceno caracterizados por fauna de la formación Cobre y no se ha encontrado en los sedimentos eocénicos de la formación San Luis. Lo más probable es que tengan una edad Paleoceno(?) - Eoceno.

Es necesario anotar, que la inmensa mayoría de los intrusivos subvolcánicos se encuentran localizados entre rocas vulcano-genio-sedimentarias de granos finos: tufitas y areniscas tobáceas, preferentemente en las zonas de contacto de estas con los aglomerados. Esta situación de los intrusivos parece estar condicionada por la presencia de fallas concordantes y del tipo "lit par lit" que se desarrollan en la zona limitrofe entre estas rocas y los aglomerados macizos que sirvieron de camino a la infiltración de la fusión magmática.

La descripción de infinidad de sills andesíticos y basálticos se contempla en los trabajos de G. Lewis y J. Straczek /9/, la in-

trusion del Cobre esta lo suficientemente descrita en los trabajos de Y. Bogdanov y otros /3/.

En el valle del rio El Cobre, al lado de la represa uno de estos cuerpos atraviesa los sedimentos vulcanogenos de la subformacion Ermitaño, siendo a su vez atravesado por un dique de diabasa. La cupula andesitica que forma la linea divisoria de los rios Ermitaño y El Cobre, tambien es atravesada por una serie de complicados diques de diabasa y andesita. Estos datos fehacientes y otras observaciones demuestran que los sill y los cuellos volcanicos formados por rocas de distinta composicion, son mas jovenes que los sedimentos vulcanogenos de la formacion Cobre y mas viejos que una serie de diques de la etapa final.

En el estudio de los aglomerados de la parte superior del corte de la formacion Cobre en distintas partes del sur de Oriente, fueron establecidos incontables clastos de diabasas y andesitas que poseen texturas y estructuras caracteristicas para las intrusiones subvolcanicas.

Grandes intrusivos de rocas cristalinas, compuestos fundamentalmente por dioritas y plagiogranitos.

Forman el segundo grupo de cuerpos magmaticos que se diferencian esencialmente por las condiciones de formacion del grupo joven de intrusivos subvolcanicos.

En la cuenca del rio Seco el limite oeste del intrusivo diorítico esta orientado perpendicular a la direccion de los sedimentos de la formacion Cobre. Aqui el intrusivo atraviesa aglomerados, tobas andesiticas, areniscas tobaceas y diabasas, los me-

tamorfiza y lleva en el contacto huella de los fenomenos de contaminacion. A 30-50 metros del contacto, las rocas intrusivas tienen aspecto de completa cristalización y estan representadas por plagiogranitos y dioritas cuarcíferas. En ella se encuentran xenólitos alterados de las rocas encajantes por su composicion correspondiente al gabro y a gabro dioritas. A medida que se aproxima al contacto los granos de las dioritas cuarcífera se hacen menores, en ellas se aumenta la cantidad de minerales de color obscuro, frecuentemente se encuentran xenolitos alterados de tobas, aglomerados y diabasas. Por su composicion mineral, las rocas de la zona del contacto se acercan a las dioritas piroxenicas y gabro dioritas. En la zona del contacto inmediato las tobas andesíticas estan granitizadas y frecuentemente es difícil distinguir los limites entre estas rocas y las sedimentaciones encajantes menos metamorfizadas.

Las dioritas en las zonas de contacto, frecuentemente estan alteradas. Las plagioclasas estan albitizadas y los minerales oscuros se han convertido en clorita. Las sedimentaciones vulcanogenas encajantes cambian a cuarzo-cloríticas, cuarzo-horblendicas y cuarzo-pedernal-epidotico.

En las secciones delgadas de muestras tomadas cerca de la zona del contacto y tambien de las rocas encajantes, puede verse en ellas que bajo la influencia del proceso de la intrusion las rocas encajantes sufren metamorfismo. En ellas aparece cuarzo corneo, clorita, epidota, albita, minerales metalicos, carbonato y otros). Las dioritas cuarcíferas tienen una composicion que no es caracteristica para ella: la de gabro-diorita y estructura de pequeños granos finos.

En el curso superior del rio Nimanima, las dioritas cuarcíferas del macizo Sierra Maestra atraviesan claramente los depositos vulca-

nogeno-sedimentarios de la subformacion Ermitaño, pero solo su estrato superior. En la zona de contacto se ve que las rocas encajantes se convierten en pedernal, se encuentran pequeños cuerpos macizos intrusivos de dioritas y apofisis de los mismos en forma de diques orientados de acuerdo con la estratificación; frecuentemente se encuentran diques de otras rocas por eso los efusivos de la formacion Cobre, practicamente no conservan las estructuras primarias y tambien se han convertido en diferentes rocas corneas. Los contactos de dioritas son irregulares y la mayor parte buza abruptamente hacia el norte, de acuerdo con la inclinacion de las rocas encajantes. Las dioritas aqui atraviesan los estratos que en la cuenca del rio Ermitaño contienen fauna Paleoceno(?) - Eoceno y que sin duda son mas jovenes que ellos.

Es completamente probable que este grandioso intrusivo macizo representara un enorme deposito magmatico residual, que sirvio de fuente de material vulcanogeno a la formacion Cobre.

Los pequeños intrusivos jovenes y diques, forman un grupo complicado y el mas joven de las rocas intrusivas.

Numerosos cuerpos en forma de dique y macizos intrusivos de diferentes rocas, han sido observados tanto en el macizo de la Sierra Maestra, como entre las sedimentaciones vulcanogeno-sedimentarias de la formacion Cobre. Particularmente saturada por tales intrusivos y diques, resulta la zona transitoria que separa el anticlinorium Sierra Maestra del sinclinorium oriental cubano. Tal posicion, lo mas probable es que se deba a la gran movilidad de la zona indicada en la etapa final del desarrollo del geosinclinal del sur de Oriente, lo cual ya fue anterior-

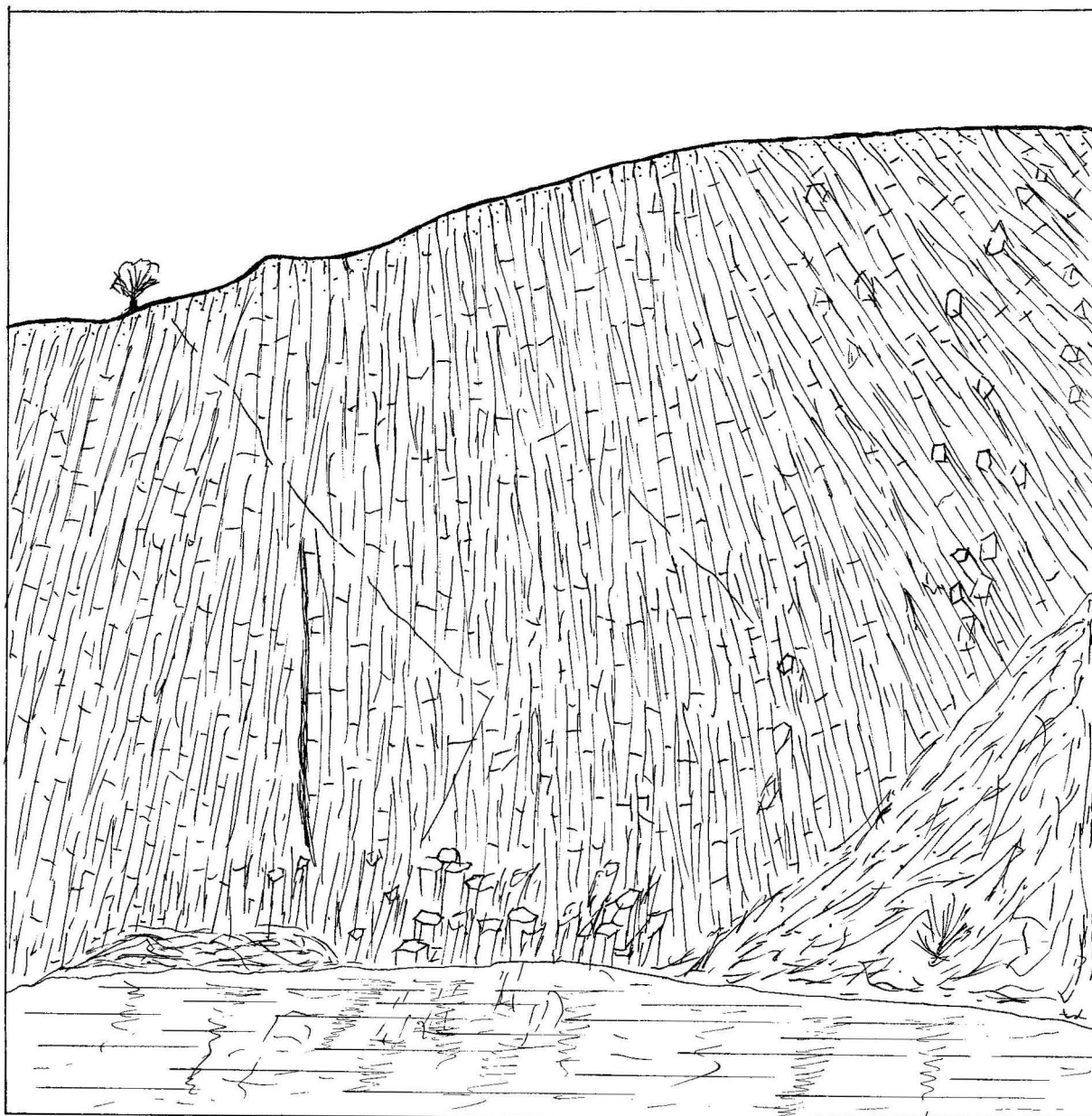


Figura 1. Cantera Warren, cerca del yacimiento El Cobre, en el esquema se muestra el basalto columnar, el cual puede corresponder a un dique o a un cuello volcanico.

mente contemplado en el presente trabajo.

Ha sido establecido por N. P. Laverov /8/, que los pequeños intrusivos juvenes y diques tienen diferente composicion y se diferencian por sus condiciones de formacion. Entre ellos pueden

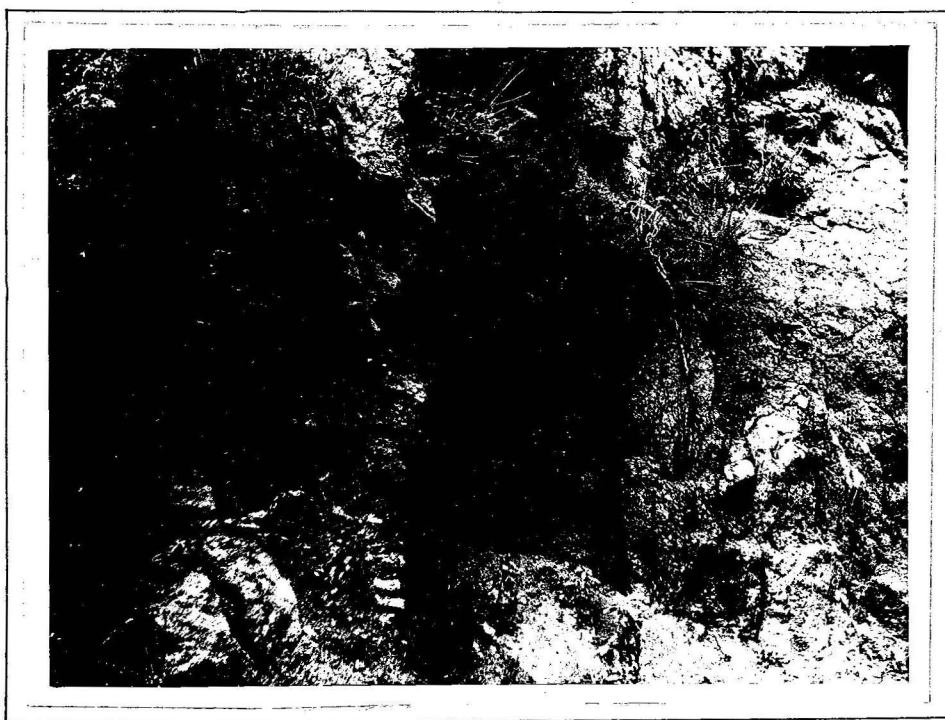


Foto 5.- Dique andesítico entre conglomerado tobáceo

ser separados dos subgrupos:

1) El extrusivo: cuellos volcanicos, lacolitos y diques, compuestos por andesitas, dacitas y riolitas.

2) El de profundidad media: macizos intrusivos, diques, sills de basaltos, diabasas, andesitas, gabroides, microdióritas y porfidos-plagiograníticos.

La descripción detallada de la composición mineralógica y estructural de las distintas rocas ígneas que forman parte de esta región de la costa sur de Oriente están ampliamente señaladas en los trabajos efectuados por distintos investigadores en la región, por lo cual nosotros no nos detendremos en dicha cuestión /5,6,3,8,9 y otros/.

5.- YACIMIENTOS HIDROTERMALES Y MANIFESTACIONES MINERALES.

De acuerdo con el trabajo de N.P.Laverov /8/ las formaciones hidrotermales del yacimiento El Cobre y sus alrededores se dividen en:

1) Yacimientos filonianos y de zonas de vetas entrelazadas y manifestaciones minerales cuarzo-calcopiriticas, localizadas en rocas piroclasticas de composicion intermedia acompañados de cuarcificacion y cloritizacion de rocas encajantes.

2) Manifestaciones cuarzo-calcopiriticas de minerales de vetitas e incrustaciones, localizados en rocas acidas y tufitas, vinculadas con cuarcitas secundarias.

3) Manifestaciones minerales filonianas y de zonas de vetas entrelazadas cuarzo-bariticas polimetalicas, localizadas en rocas piroclasticas de composicion intermedia, acompañados de la cloritizacion y carbonatizacion de estas rocas.

4) Zonas piriticas con calcopirita, de mineral en forma de venillas e incrustaciones en rocas piroclasticas-intermedias y dioritas, acompañados de la cuarcificacion de las rocas encajantes,.

Todos los autores que han estudiado la region estan de acuerdo en que la mineralizacion de los sulfuros es posterior a cualquiera de las rocas intrusivas existentes incluso los diques mas jovenes, o sea el origen de los yacimientos hidrotermales se produjo en la etapa postmagmatica cuando ya todas las rocas conocidas estaban consolidadas.

Por cuanto se establece que los procesos de la formacion del mineral tuvieron efecto despues de la penetracion de las diabasas y de los basaltos del Eoceno Medio Superior, entonces su edad de surgimiento no puede ser mas antigua que esta edad. En la actualidad no existen datos concretos sobre el limite superior de estos

procesos de formacion del mineral. No obstante eso, a juzgar por los datos indirectos, este limite puede ser determinado de una forma bastante fundamentada. Muchos investigadores anteriormente observaron que en los sedimentos del Neogeno y Oligoceno los cuales forman un nuevo piso estructural post-geosinclinal, no existen huellas de manifestacion magmatica ni de actividad hidrotermal /11/. La formacion del piso coincide con la nueva etapa del desarrollo de Cuba, el cual tiene rasgos caracteristicos propios, entre otros la suspension de los fenomenos magmaticos y por consiguiente de los procesos de mineralizacion endogena. Por todas estas razones parecense que la edad de Eoceno Superior de los yacimientos hidro--termales del sur de Oriente esta bastante fundamentada.

C a p í t u l o I V

CARACTERISTICAS GENERALES E HISTORIA DEL
YACIMIENTO "EL COBRE"

El yacimiento El Cobre esta situado en el extremo sur-oriental del pueblo del mismo nombre, que es el centro del municipio El Cobre en la provincia de Oriente situado a unos 13 Kms de la ciudad de Santiago de Cuba.

El Yacimiento El Cobre fue descubierto en el año de 1544 por un vecino de Santiago de Cuba llamado Hernando Nuñez Lobo (ver Historia y desarrollo de la Minería en Cuba) /4/. Comenzo su explotacion en el año de 1558 bajo la direccion del aleman Juan Tezel, las minas al principio solo se explotaron esporadicamente, a causa de numerosos litigios entre los distintos propietarios y al acosamiento de los piratas y corsarios. Ademas de esto el 11 de julio de 1766 un gran temblor de tierra destruyo y cego con los derrumbes todas las galerias y pozos de estas minas los que quedaron abandonados hasta que en 1830 se encargo de ellos una compañía inglesa que reemprendio las labores con buen exito, en la zonas mas productivas.

Durante casi treinta años (1874-1902) el metal de la mina se extrajo de las aguas ricas en contenido de cobre.

Desde 1918 hasta el presente, la extraccion del mineral de cobre se realizo en pequeña escala. Se extraia el mineral de la zona de enriquecimiento secundario y se explotaban las escombreras viejas.



Foto 6.- Vista panoramica del area de la cantera Mina Grande en el yacimiento "El Cobre"

Datos exactos sobre la escala de la extraccion existen solamente desde 1830. Segun los datos existentes (R. Allende 1927), del yacimiento El Cobre se extrajo durante diversas etapas de la explotacion , la siguiente cantidad de mineral de cobre:

Periodo	Mineral con un contenido alto de cobre 14-20% (toneladas)	Mineral con un contenido medio de cobre 2.53% (toneladas)
1830-1870	700,047	-----
1903-1910	87,967	1.180,000
1911-1917	-----	698,148
1917-1918	-----	45,000
En Total:	7.877,010	1.923,148

T A B L A I I

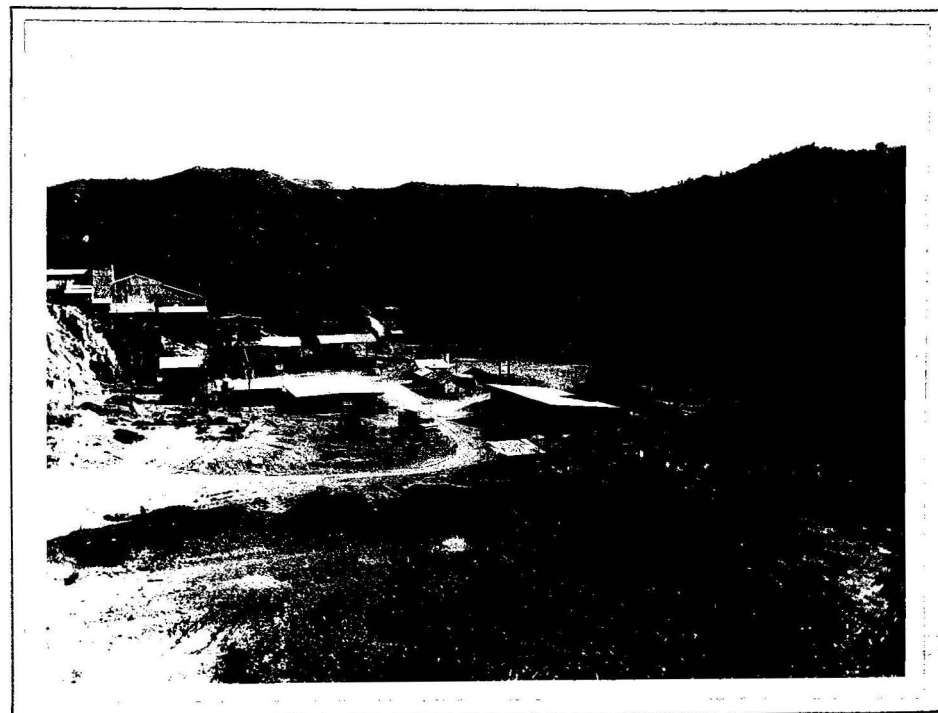
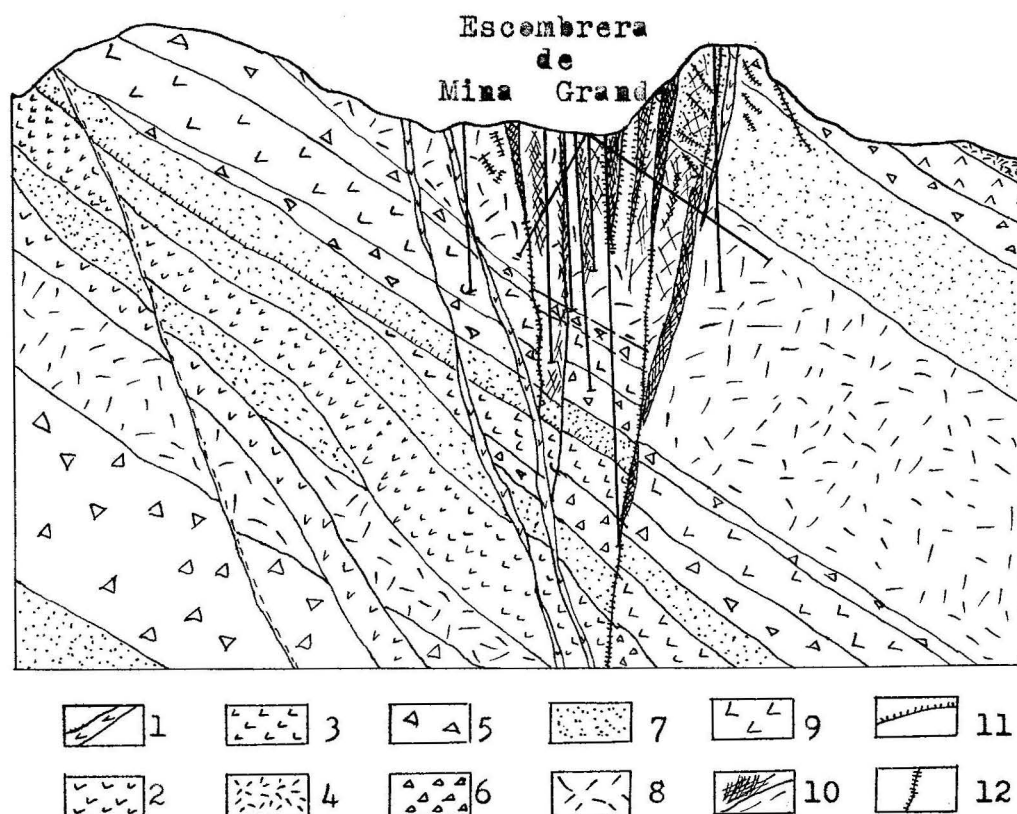


Foto 7.- Planta de enriquecimiento de El Cobre. Destinada a procesar las escombreras viejas.

Ahora la planta enriquecedora de El Cobre trabaja con un rendimiento de 10,000 toneladas de las escombreras viejas. Las reservas de este mineral, con un contenido de cobre de 1,34% eran en enero de 1963 cerca de medio millon de toneladas, ultimamente se ha concluido el calculo de reservas para el area de Mina Grande (vea foto 6) lo cual ha aumentado en mas del doble las reserva de mineral de cobre, ademas se estudia un procedimiento de beneficio de los carbonatos de cobre y sulfatos todo lo cual parece indicar que seguira existiendo por largo tiempo esta cuenca minera.

En la estructura geologica de la zona del yacimiento participan las secuencias sedimentarias de origen volcanico del Paleoceno - Eoceno, representadas principalmente por brechas tobaceas, aglomerados tobaceos, tobas y capas de forfiritas andesiticas. Las rocas arriba mencionadas yacen monoclinamente, formando el flanco noroeste de una gran estructura, anticlinal.



1.- Diques de diabasas y andesitas 2.- Diabasas intrusivas. 3.- Andesitas intrusivas. 4.- Tobas dacíticas y aglomerados. 5.- Aglomerados gruesos. 6.- Aglomerados mas finos. 7.- Areniscas tobaceas, tufitas y tobas andesíticas y dacíticas. 8.- Tobas andesíticas y aglomerados poco potentes. 9.- Capa de andesita amigdaloidal. 10.- Fracturas tectonicas y zonas de rocas fracturadas. 11.- Dislocaciones de los estratos. 12.- Zonas cuarcificadas y menas de sulfuros.

Figura 2.- Corte geológico a través del Yacimiento El Cobre en la zona de Mina Grande y con dirección meridional.

La dirección de las rocas es hacia el NE (40-60°) y el buzamiento al NW con un ángulo de 20-40°.

Las rocas sedimentarias están cortadas por numerosos diques de porfiritas andesíticas (vea foto 5). Las principales estructuras metalíferas son las grandes zonas mineralizadas de fragmentación que se observan en algunos casos según su dirección a lo largo de unos 2 kilómetros y por el buzamiento de cerca de

500 metros, con un espesor hasta de 10 metros.

Las dimensiones considerables del campo mineralizado del yacimiento y la irregularidad de la distribución de la mineralización determinaron su exploración y explotación en áreas separadas. Además del área central "Mina Grande", al yacimiento El Cobre pertenecen las áreas Gitanilla, Alta y Ermitaño (ver anexo 3). Las áreas arriba mencionadas se distinguen algo por sus estructuras geológicas, particularidades de la mineralización y por el grado de las investigaciones en ellas efectuado, por eso es que será mejor efectuar la descripción por separado.

1.- AREA MINA GRANDE

Esta situada en el extremo sureste del pueblo El Cobre . Aquí se explotó el mineral del cobre por casi 400 años con algunas interrupciones.

Los cuerpos de mineral en esta área están descubiertos por numerosas minas, canteras, galerías y pozos criollos. Algunos cuerpos de mineral ya han sido extraídos hasta la profundidad de 300 metros (Allende, 1927). La estimación de los horizontes profundos ha sido y se realiza por medio de perforaciones profundas. Al efectuarlas se encuentran numerosas dificultades debido a la no existencia de la documentación de los laboreos subterráneos antiguos.

En los límites del área aflora un gran lente de rocas piroclásticas que se refiere a la parte inferior del Eoceno. Está representado por tobas con capas de aglomerados y brechas tobáceas. La dirección de las rocas es NE ($50-60^{\circ}$) y el buzamiento hacia el NW con un ángulo de $30-40^{\circ}$. El paquete de las rocas piroclásticas se observa según su dirección a un largo aproximado de 1 Km., teniendo un espesor de unos 100 metros. Al NE y SW dicho espesor es sustituido por capas de porfirita andesítica.

Hacia el sur y el norte del area las rocas piroclasticas aparecen cortadas por porfiritas andesiticas. En los limites del area se conocen diques de porfiritas andesiticas de direccion nodeste, los que estan asociados a dislocaciones tectonicas que se formaron antes de la mineralizacion, habiendose formado los diques igualmente antes de la misma. Las dislocaciones tectonicas que ocurrieron despues de la mineralizacion estan representados por fallas de direccion nordeste y noroeste con angulos abruptos de buzamiento. A lo largo de estas fallas no se observan desplazamientos muy grandes.

Las formaciones mineralizadas del area en cuanto a las condiciones geologicas del origen y la importancia industrial pueden clasificarse en los 4 grupos siguientes:

- 1.- Grandes zonas mineralizadas de fragmentacion.
- 2.- Vetas de cuarzo con mineralizacion de sulfuros (vea foto 8).
- 3.- Zonas de mineralizacion incrustada y en forma de venillas.
- 4.- Zonas comprimidas piritizadas.

1.- Grandes zonas mineralizadas de fragmentacion.

Son elementos estructurales predominantes en el campo mineralizado. Dichas zonas estan asociadas a los sistemas de dislocaciones tectonicas las cuales tienen las caracteristicas siguientes:

- 1.- Direccion NE, buzamiento vertical o al NW con un angulo de 70-80°.
- 2.- Direccion NE 20-30°, buzamiento al SE con un angulo de 70-80°.
- 3.- La direccion es latitudinal siendo el buzamiento vertical o hacia el N con un angulo de 70-80°.

Las dislocaciones tectonicas señaladas que se formaron antes de la mineralizacion, estan representadas por zonas de fragmentacion considerable sin desplazamientos verticales u horizontales notables. La longitud de las zonas mineralizadas segun su rumbo alcanza 1 Km, siendo su espesor hasta de 10 metros y de 15 mas raras veces (vea foto 9); en cuanto a la profundidad estas zonas se observan hasta los 300-350 metros y raramente hasta los 500 metros. La estructura del campo mineralizado del area depende principalmente de dos zonas mineralizadas; la septentrional y la meridional.

La zona meridional (vea fig. 2) tiene un buzamiento vertical o muy abrupto hacia el NW, la septentrional tiene el buzamiento abrupto al SE con un angulo de 70-80°. Las zonas cercanas a la mina Hardy se cruzan a una profundidad de 250 m. Debajo de



Foto 8.- Se muestra una fina veta de cuarzo con mineralización de sulfuros.

la línea de cruzamiento según los datos de la compañía Nicaro Nickel, no se conoce la mineralización industrial. Hacia el SW tiene lugar la inclinación de la línea de cruzamiento de las zonas mineralizadas con un ángulo de unos 40° , (Pfeffer, 1961).

Al Ne de la línea del perfil de la fig. 2 las zonas varían abruptamente sus direcciones. La zona septentrional tiene aquí una dirección nororiental de 30° y un buzamiento al NW con un ángulo de 70° , la meridional tiene una dirección latitudinal y un buzamiento abrupto hacia el N con un ángulo de $70-80^{\circ}$.

La zona meridional se observa hacia el este a lo largo de una distancia de 400 metros, la zona septentrional se observa hacia el NE del perfil a lo largo de unos 200 metros.

Las zonas mineralizadas están representadas por rocas piroclásticas brechosas, cementadas por cuarzo y sulfuros. Es carac-

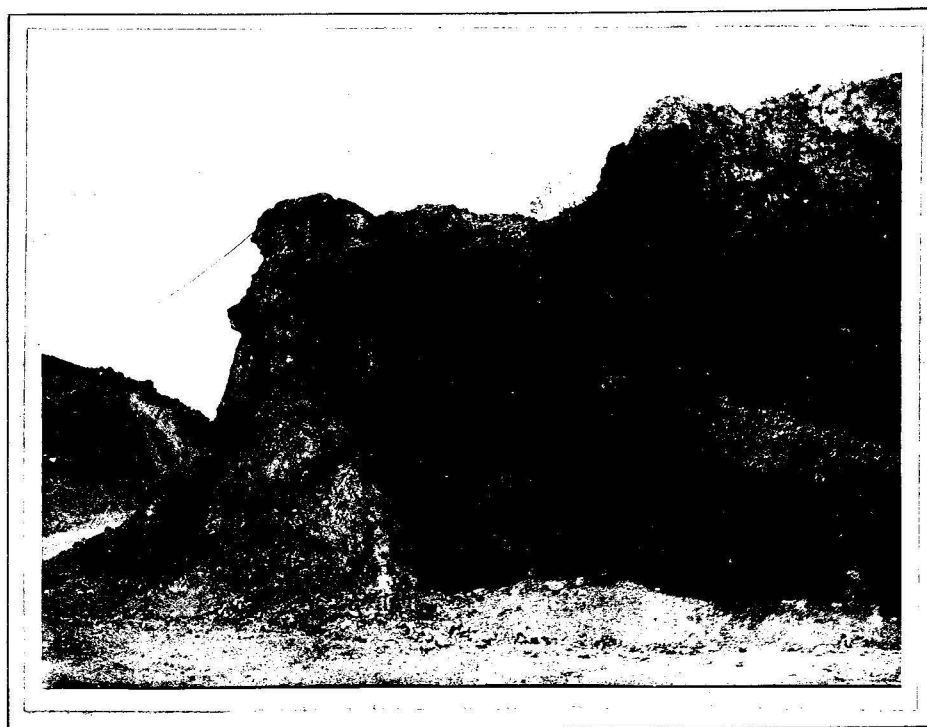


Foto 9.- Se muestra una de las zonas de mineralizacion brechosa.

teristica la presencia de texturas brechosas, donde los fragmentos de tobas de angulos agudos estan cementadas por cuarzo, el cual a veces cubre los fragmentos teniendo el aspecto de las drusas de los cristales prismaticos. Ademàs del cuarzo se encuentran los siguientes minerales de filon: calcita, yeso, clorita, barita y epidota. Los sulfuros estan representados por pirita y calcopirita menos comunmente por esfaleritas, pirolusitas y galenita. Las estructuras de los intercrecimientos de pirita y calcopirita son de grano hipidiomorfico y mas raramente se encuentran estructuras brechosas y de substitution.

Los sulfuros se desarrollan asi a lo largo de las salbandas de las venillas asi como en sus partes centrales, relleno el espacio entre los cristales de cuarzo. A veces los sulfuros se desarrollan en asociacion con clorita verde oscura que forma bolsoncitos

y películas en el cuarzo. Las últimas a menudo subrayan las zonas de crecimiento en los cristales y agregados de cuarzo.

Las alteraciones que se encuentran en las cercanías del mineral se manifiestan en la cuarcificación y cloritización de las rocas encajantes.

En la zona de oxidación los sulfuros están constituidos completamente por hidróxidos de hierro y carbonatos de cobre. En la superficie generalmente predominan los hidróxidos de hierro; los carbonatos de cobre frecuentemente están ausentes. Junto con la malaquita y la azurita se encuentra cuprita brochantita y cobre nativo. La profundidad de la zona de oxidación y lixiviación es de unos 10 metros. Cerca de las dislocaciones tectónicas los minerales oxidados se observan a la profundidad de 100-150 metros y más.

En la zona de cementación se desarrolla ampliamente calcosina y covelina que enriquecen los minerales considerablemente. El espesor de la zona de enriquecimiento sulfurico secundario no es constante y oscila desde pocos metros hasta 20-30 metros y raramente más de 30 metros. Están desarrollados ampliamente los minerales mezclados, en los cuales junto con los relictos de los sulfuros hipogénicos se encuentran los sulfuros secundarios, carbonatos y óxidos.

Los bloques de los minerales mezclados se encuentran tanto en la zona de oxidación como en la zona de cementación.

Las zonas mineralizadas de fragmentación representaban los cuerpos mineralizados con un contenido alto del metal (2.5-3%) de cobre en el mineral primario y 15-20% de cobre en el mineral de la zona de cementación. Ellas fueron la fuente principal del mineral extraído durante toda su historia de explotación.

2.- V e t a s d e c u a r z o c o n m i n e r a l i z a - c i o n d e s u l f u r o s .

Junto con las grandes zonas de fragmentacion mineralizadas aqui estan desarrolladas ampliamente vetas de cuarzo con mineralizacion de sulfuros. Ellas estan asociadas a dislocaciones tectonicas que se caracterizan por tener los mismos elementos de yacencia que las zonas metaliferas de fragmentacion. A veces las vetas estan localizadas a lo largo de grietas de direccion noroccidental y tienen el buzamiento vertical o abrupto hacia el NE, los sistemas de vetas paralelas se disponen a menudo en forma de escalones. Sus espesores miden las primeras decenas de centimetros raramente alcanzan un metro y mas. La longitud de las vetas segun su direccion pueden ser de varias decenas de metros o de algo mas de 100 metros. Se observan algunas vetas con interrupciones por espacio de mas de 1 Km. (zona Alta).

Las vetas se componen de cuarzo de color blanco-lechoso o gris blanco. En las mismas es caracteristica la presencia de drusas de cristales de cuarzo. A veces en las drusas se observa calcita y clorita. Los sulfuros, representados por pirita y calcopirita y mas raramente por esfalerita y pirrotina, existen en una cantidad pequena; ellos se desarrollan a lo largo de las salbandas de vetas o rellenan las cavidades de drusas.

La pirita forma cristales regulares en forma de cubos o pentadodecaedros que a veces junto con calcopirita y pirita forman entrecrecimientos en forma de pequeños bolsones y venillas en las vetas.

La calcopirita, la esfalerita y la pirrotina forman en el

cuarzo bolsones de forma irregular y venillas.

A veces los sulfuros aparecen en las vetas de cuarzo en cantidades considerables, pero a menudo se encuentran las vetas de cuarzo sin mineralizacion de sulfuros. A estas ultimas se les llamaba anteriormente vetas esteriles (cuarzo esteril).

En realidad algunas vetas de cuarzo son pequeñas zonas de fragmentacion mineralizadas (zona Meridional, etc). En algunos casos se producen transiciones graduales de las vetas de cuarzo en las zonas mineralizadas de fragmentacion segun su direccion. Las vetas de cuarzo a veces se desarrollan en las grandes zonas metaliferas de fragmentacion. Los limites señalados entre ellas son condicionales.

Las vetas de cuarzo ricas en sulfuros se explotaban anteriormente pero la cantidad del mineral extraido ha sido muy pequeña. En estos momentos la mayoría de ellas no tienen importancia practica.

3.- Zonas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas.-

La presencia de zonas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas en los bloques de rocas piroclasticas, que se encuentran entre las zonas mineralizadas de fragmentacion, es una de las particularidades caracteristicas del yacimiento El Cobre.

La mineralizacion diseminada y en forma de venillas tiene lugar, principalmente entre las zonas Septentrional y Meridional. La diseminacion de sulfuros y las venillas de cuarzo y sulfuros en las tobas y en aglomerados tobaceos alcanzan sus desarrollos mas intensos en las zonas de cruzamiento

de 2 o 3 sistemas de zonas de fragmentacion. Aqui se hacen evidentes las condiciones mas favorables para la formacion de rocas brechosas que se encuentran entre las zonas de dislocacion tectonica.

A estas condiciones sin dudas responde la region de la corteza Grande, donde se desarrollan el conjunto de las zonas mineralizadas de fragmentacion de direccion nororiental y latitudinal desarrollada de mineralizacion diseminada y en forma de venillas como consecuencia de la cantera.

La extension de esta area es de 90 x 150 metros y la mineralizacion se encuentra hasta la profundidad de 82 metros.

Los contornos de los cuerpos con mineralizacion diseminada y en forma de venillas aparecen trazados en esta area en grado considerable pero condicional, ya que practicamente no se pueden interpretar de un modo correcto los datos referentes a la perforacion a percusion en presencia de grandes y numerosos laboreos mineros.

Al SW de la cantera Grande y entre la zona Meridional y Septentrional se observan reiteradamente areas de intenso desarrollo de la mineralizacion diseminada y en forma de venillas, (canteras San Pedro, San Jose, San Juan, etc.).

En algunos casos se observan transiciones graduales segun la direccion y el buzamiento de las zonas mineralizadas de fragmentacion en las de mineralizacion diseminada y en forma de venillas en sentido inverso.

Las tobas y los aglomerados tobaceos, que encajan la mineralizacion diseminada y en forma de venillas son cuarcificadas intensamente y rotas por numerosos sistemas de grietas finas, a las cuales estan asociadas las venillas de cuarzo y sulfuros.

La forma de las venillas es mas frecuentemente rectilinea con salbandas algo sinuosas. Sus espesores varian desde varios milímetros hasta cinco centímetros y a veces mas. Las venillas mas grandes aparecen a lo largo de una decena de metros segun su direccion y buzamiento. La densidad de las venillas alcanza de 10-15 y mas por metro cuadrado. La proporcion de cuarzo y sulfuros en las venillas no es constante. Los sulfuros se encuentran ya en forma de granos finos de las drusa de cuarzo ya componiendo completamente las venillas, donde el cuarzo existe en una cantidad limitada.

La diseminacion de sulfuros en las rocas esta representada por granos finos de pirita y calcopirita en proporciones de cantidad diversa. La pirita, los granos de la cual estan ubicados en el cemento de las rocas piroclasticas predomina mas frecuentemente.

En las venillas de cuarzo junto con la pirita y la calcopirita a veces se encuentra la esfalerita. La calcopirita, a menudo se desarrolla con amplitud.

El contenido de cobre en el mineral primario diseminado y en forma de venillas no esta exactamente determinado. Segun los datos disponible este es de 1-1.5%.

La pobre mineralizacion, la cual contiene esencialmente pirita y la cual es a su vez diseminada y en forma de venillas se caracteriza por un contenido de cobre de 0.05-0.3%.

En la zona de oxidacion los cuerpos de la mineralizacion diseminada y en forma de venillas estan considerablemente alterados. En ella los sulfuros estan sustituidos por hidroxidos de hierro. A veces se observa la pseudomorfosis de los hidroxidos de hierro en la pirita. Los carbonatos de cobre se encuen-

tran menos frecuentemente. El cobre lixiviado del mineral tiene una capacidad migratoria buena en las aguas subterráneas repositándose considerablemente debajo de la superficie del manto freático.

En la zona del enriquecimiento de óxidos se desarrolla ampliamente la malaquita, azurita, cuprita brochantita y cobre nativo.

La profundidad de la zona de oxidación no es constante; la misma oscila entre 5 y 10 metros y más. En algunos casos el mineral oxidado se observa cerca de las zonas de dislocaciones formadas después de la mineralización, a una profundidad de más de 150 metros.

En la zona de cementación se desarrolla calcosina y covellina. Los límites de esta zona son muy irregulares. El espesor de la zona de enriquecimiento de sulfuros secundarios alcanza de 20-30 metros y más (Mina Grande y otros lugares).

Anteriormente se explotaban solamente las zonas de cementación de los cuerpos con mineralización diseminada y en forma de venillas.

A partir del año de 1960 se comenzó el estudio sistemático de este tipo de mineralización en el área de Mina Grande con el fin de ponerla en explotación en lo que al mineral primario se refiere, en la actualidad como ya citamos anteriormente han sido efectuado los cálculos de las reservas de esta área y se ha comenzado el minado, de prueba.

4.- Zonas comprimidas pirritizadas.

Estas zonas tienen un desarrollo limitado en el área. Dichas

zonas se conocen hacia el norte y al SW de la mina. Las zonas comprimidas tienen una direccion NE y el buzamiento vertical o abrupto hacia el NW. Ellas se observan segun su direccion durante varios cientos de metros y tienen un espesor de varias decenas de metros.

En las zonas comprimidas piritizadas las rocas piroclasticas estan un poco dislocadas, esquistosas y cuarcificadas y contienen una diseminacion pequena de pirita y mas raramente de calcopirita.

En la zona de oxidacion de las zonas comprimidas piritizadas se desarrolla ampliamente hidroxidos de hierro. La malaquita y azurita estan ausentes por regla general.

Anteriormente las zonas comprimidas piritizadas se explotaban mediante pozos criollos profundos y galerias. Los resultados de estos trabajos no revelaron mineral con un contenido industrial de cobre.

A causa de las condiciones geograficas del origen de las zonas comprimidas piritizadas estas son una variedad de mineralizacion diseminada y en forma de venillas. Dichas zonas merecen los trabajos de evaluacion mas detallados.

De tal modo, en el area de Mina Grande los tipos industriales de las formaciones mineralizadas son las zonas de fragmentacion mineralizadas y las zonas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas.

Las zonas de fragmentacion se han agotado hasta la profundidad de 100-300 metros.

El mineral rico de la zona de cementacion actualmente esta considerablemente agotado. Todavia no han sido encontrados grandes cuerpos con mineral primario diseminado y en forma de venillas.

2.- AREA GITANILLA.

El area Gitanilla esta situada a una distancia de 500 metros al Este de la mina, en la orilla izquierda del rio El Cobre (ver anexo 3).

Aqui aflora un estrato de tobas de fragmentos medianos y finos con un espesor de unos 100 metros. Debajo y encima de este estrato yacen brechas tobaceas y aglomerados tobaceos. El estrato de tobas tiene una direccion NE y buza hacia el NW con un angulo de 30° ; hacia el Este de este estrato se efectua su acuñamiento gradual.

Las tobas estan cruzadas por dos zonas mineralizadas de fragmentacion de rumbo casi latitudinal con espesores de 7 y 14 metros. La zona septentrional buza al sur, la meridional al norte, los angulos de buzamiento son abruptos $80-85^{\circ}$.

La distancia entre las zonas en el oeste del area es de 20 metros en el este esta distancia disminuye abruptamente y la zona meridional se acuña. Las tobas que estan entre las zonas mineralizadas estan dislocadas intensamente y cruzadas por una zona casi latitudinal de dislocacion con espejos de deslizamientos.

La zona septentrional se observa segun su direccion a una distancia de cerca de 300 metros y por el buzamiento $80-130$ metros. En la parte oriental del area en distancia de 30 metros al norte de esta zona se observan dos zonas mineralizadas mas. Mas al este se encuentran solamente las vetas de cuarzo de poco espesor y zonas mineralizadas de fragmentacion con sulfuros.

Antes, las zonas mineralizadas del area gitanilla se explotaban, pero la extraccion no tuvo lugar debajo del nivel del rio El Cobre debido a la gran afluencia de agua a las labores.

En el area es necesario, cosa esta que se efectua en la actualidad a traves de perforaciones y de estudios geofisicos, estimar las perspectivas de las zonas mineralizadas en la profundidad.

3.- AREA ERMITAÑO.

Esta situada a una distancia de 200-300 metros al norte del caserio del mismo nombre (ver anexo 3). En sus limites es-



Foto 10.- Laboreo de las viejas escombreras que se beneficiaban actualmente.

tan desarrollados los mantos de porfiritas andesiticas con capas de tobas aglomeradas que se refieren al espesor inferior del Paleoceno, o sea subformacion Ermitaño. La direccion de las rocas es NE y con el buzamiento al NW bajo un angulo de 30° . Ellas estan cruzadas por dos vetas de cuarzo y sulfuros paralelas la

distancia entre las cuales es cerca de 50 metros. Las vetas tienen direccion noroeste de 30° y el buzamiento abrupto al NW bajo un angulo de $80-85^{\circ}$. Las potencias de las zonas mineralizadas son de 40-60 centimetros, raramente hasta un metro.

Cerca de las vetas estan desarrolladas las zonas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas.

Junto con la pirita y calcopirita en las menas esta desarrollada ampliamente la esfalerita principalmente en forma de su variedad ferrosa,--martita. Es caracteristica la presencia de las estructuras de emulsion de desintegracion. Las estructuras de granos hipidiomorficos y alotriomorfos son caracteristicos para los entrecrecimientos de pirita y calcopirita. Las alteraciones que se encuentran cerca del mineral se manifiestan por la cuarcificacion y cloritizacion de las rocas encajantes.

A lo largo de la zona occidental se observa un quebrantamiento formado despues de la mineralizacion.

En la zona de oxidacion estan desarrollados ampliamente los hidroxidos de hierro, a veces se encuentra malaquita y azurita.

En el area han sido efectuados en los ultimos años distintos trabajos de investigacion geologica los cuales no demuestran que puedan existir muchas posibilidades en esta zona.

4.- AREA ALTA.

Esta situada a unos 500 metros al sur de Mina Grande en la ladera septentrional de la Loma de los Pozos. Los cuerpos mineralizados en el area estan abiertos por una cantera de explotacion con una longitud de cerca de 150 metros y una anchura hasta de 50 metros. A la profundidad la mineralizacion se observa por unas galerias de exploracion. La longitud de una de las ga-

lerias es de cerca de 80 metros ella tiene una galeria pequeña con una longitud de 30 metros y un pozo ciego con una profundidad de cerca de 8 metros. Hay que notar que desde la escuela de perforacion en direccion hacia Alta hay una galeria con una longitud de cerca de 300 metros, que aparentemente le falta para llegar al area unos 100 metros, el nivel de dicha galeria es mucho mas baja que la del area.

En la region del area Alta estan desarrolladas las rocas piroclasticas de edad supuesta como Paleoceno, las rocas estan representadas por tobas con lentes raros de aglomerados tobaceos. La direccion de los estratos en NE 40-50°, el buzamiento al NW bajo un angulo de 35-40°.

El paquete de las rocas piroclasticas esta cortado por una intrusion y diques de porfiritas andesiticas. A lo largo del contacto occidental de la intrusion pasa una zona mineralizada observada al NE del area Gitanilla y al SW hasta la divisoria de aguas de los rios Cobre y Ermitaño (cerca de 2 kms).

En los limites del area Alta esta zona mineralizada esta representada por dos vetas paralelas de cuarzo y sulfuros que estan situadas a una distancia de 10-15 metros una de otra. Ellas tienen una direccion al NE 40-50°, el buzamiento es vertical. La potencia de las vetas oscila de 5 a 60 cms., alcanzando raramente un metro. Entre las vetas a veces esta desarrollada la mineralizacion diseminada y en forma de venillas (del tipo stockworks). En estas zonas las vetas y las tobas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas intercaladas entre ellas representan solo un cuerpo de mineral. Las vetas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas, desarrolladas entre ellas se observan a una distancia de mas de 300 metros.

Entre las vetas se encuentran dislocaciones tectónicas manifestadas por espejos de fricción y arcilla tectónica. Se manifiesta más claramente una dislocación que pasa entre las vetas a una distancia de cerca de 200 metros y buza al NW bajo un ángulo de 70-80°.

A lo largo de la zona pasan dos diques de porfiritas andesíticas con las potencias de 8 y 4 metros y separados el uno del otro por 10 metros.

El dique más potente está situado a 5 metros al NW de la zona mineralizada. Los diques están cruzados por venillas finas de cuarzo y sulfuros. Las tobas en el contacto con los diques están un poco cuarcificadas y piritizadas.

Los sulfuros primarios en la zona mineralizada están representados por pirita y calcopirita.

Se nota un contenido más alto de pirita en comparación con las formaciones mineralizadas del área Grande que es característico para muchas de las manifestaciones de cobre desarrolladas en la zona del exocontacto y endocontacto de la intrusión de las porfiritas andesíticas. Un contenido alto de pirita es característico para las vetas de cuarzo y sulfuros situadas en la prolongación noroeste de la zona Alta; estas vetas pasan a lo largo del contacto de la intrusión. Las vetas se observan ininterrumpidamente por una galería y canteras abiertas en una distancia de cerca de 300 metros.

Un contenido más alto de pirita en las menas de esta área fue notado ya hace mucho (Anstead, 1856; Emerson, 1918 y otros).

En la zona de cementación están desarrollados ampliamente la calcosina y covelina, en la zona de oxidación los hidróxidos de hierro, malaquita y azurita.

La zona de oxidacion tiene una profundidad de desarrollo pequeña. En la cantera a la profundidad no mayor de 10 metros de la superficie se observa el mineral un poco oxidado de la zona de cementacion. La profundidad de la zona de cementacion es de cerca de 30 metros ya que en la Galeria No. 1 se encuentra el mineral primario a la profundidad de 35 metros.

El cuerpo mineral pequeño B que buza muy abruptamente se adhiere al cuerpo de mineral A desde el Este. Este cuerpo B tiene direccion noroeste $320-330^{\circ}$ y su espesor es de mas de 15 metros y esta representado por tobas con venillas de cuarzo que contienen pirita y calcopirita. Los sulfuros estan generalmente sustituidos, a menudo, por hidroxidos de hierro, malaquita y azurita. El cuerpo de mineral al Este esta sustituido por dos vetas paralelas de cuarzo y sulfuros que buzan abruptamente y estan situadas a una distancia de 8-10 metros una de la otra. Estas vetas se observan a una distancia de cerca de 100 metros hasta Pozo Alto.

El limite oriental del cuerpo mineral B con mineralizacion diseminada y en forma de venillas no se observa.

En el año de 1963 fueron efectuados los calculos de reservas del area Alta en lo que se refiere a sus cuerpos A y B lo cual mostro que las reservas de esta zona en categoria C_1 son de aproximadamente 255,525 toneladas de mineral con contenidos promedios de cobre de 2.06% y 0.98% o sea 4858.5 toneladas de metal, no obstante la evaluacion definitiva del area no esta dada aun y se pueden esperar reservas mayores, aunque sea a una ley menor.

5.- ORIGEN GEOLOGICO DEL YACIMIENTO.

Las formaciones mineralizadas de El Cobre se caracterizan en general por determinadas regularidades de su disposicion, condicionadas al origen geologico. La mineralizacion esta controlada por factores magmaticos, tectonicos y litologicos.

El control magmatico de la mineralizacion se manifiesta por la localizacion de diversos tipos de formaciones mineralizadas en la zona del exocontacto de los cuellos volcanicos de las porfiritas andesiticas; por la localizacion de diques de porfiritas andesiticas, anteriormente a la mineralizacion a lo largo de las estructuras que controlan la mineralizacion; por la disposicion zonal de la mineralizacion de pirita y calcopirita con respecto a los cuellos volcanicos. Mas cerca de los cuellos volcanicos se situan zonas con un contenido mas alto de pirita (zona ALTA y otras). La presencia del control magmatico, claramente expresado, permite suponer que la mineralizacion esta parageneticamente asociada con cuellos volcanicos y diques de porfiritas andesiticas. Por lo visto, la mineralizacion esta geneticamente asociada, tanto a los cuellos volcanicos y diques asi como a un foco magmatico que se supone exista en profundidad debajo de los cuellos magmaticos de las porfiritas andesiticas ya consolidadas. Esta conexion se confirma por la zonacion mencionada de la mineralizacion asi como por la semejanza de las formaciones mineralizadas nuevas que surgieron durante el autometamorfismo de los subvolcanes y los procesos de mineralizacion (cuarcificacion, cloritizacion, etc.).

El amplio desarrollo en el mineral de texturas brechosas y drusas, formadas por cristales prismaticos cortos de cuarzo

clorita, calcita y sulfuros así como las alteraciones cerca del mineral, representadas por cuarcificación y cloritización, testimonian sobre la pequeña profundidad y temperaturas medias de la formación del yacimiento. Tales condiciones son características para los yacimientos que se formaron cerca de las chimeneas de erupción.

El control tectónico de la mineralización se manifiesta por la asociación de la mineralización a las zonas comprimidas de fragmentación, agrietamiento y esquistosidad de las rocas, así como a las grietas tectónicas. La dirección predominante de las estructuras mineralizadas es nororiental y más raramente latitudinal. Las rocas algo brechosas, intercaladas entre las zonas de fragmentación servían de ambiente favorable para el desarrollo de la mineralización diseminada y en forma de venillas, que alcanzo su máximo desarrollo en las áreas donde se encuentran las zonas de fragmentación.

El origen de todas las dislocaciones mencionadas que controlan la mineralización, estuvo grandemente condicionada a la actividad de los volcanes. Muchas dislocaciones, que se formaron antes de la mineralización, ocurrieron después de la consolidación de las porfiritas andesíticas en los cuellos volcánicos.

El control tectónico de la mineralización claramente expresado, confirma que las formaciones mineralizadas mencionadas se refieren al tipo de los yacimientos de grieta, pero se caracterizan por algunas particularidades específicas, a las cuales se refiere el amplio desarrollo de las zonas mineralizadas de fragmentación y las de mineralización diseminada y en

forma de venillas.

El control litológico de la mineralización se expresa por la asociación de las formaciones mineralizadas a las rocas piroclásticas y sobre todo, a las tobas y aglomerados tobáceos. Cruzando los mantos y cuellos volcánicos de las porfiritas andesíticas, las zonas mineralizadas grandes de fragmentación disminuyen abruptamente su espesor o se sustituyen por vetas de cuarzo y estrechas grietas tectónicas. Tal control litológico está condicionado por la distinta estabilidad de las rocas bajo las condiciones de las tensiones tectónicas. Las rocas piroclásticas menos estables en comparación con las porfiritas, fueron el ambiente favorable para el desarrollo de las zonas de fragmentación que controlan la mineralización.

De tal modo, del análisis de las condiciones geológicas de la formación del yacimiento, se deduce que el se refiere al tipo de yacimiento de grieta con un amplio desarrollo de las zonas mineralizadas de fragmentación y las de mineralización diseminadas y en forma de venillas, asociadas paragenéticamente con las chimeneas de erupción (cuellos volcánicos) y diques de porfiritas andesíticas.

6.- FACTORES GEOLOGICOS FAVORABLES Y CRITERIOS PARA LA PROSPECCION.

En base a las condiciones mencionadas en la formación del yacimiento El Cobre se pueden considerar una serie de factores geológicos favorables en el origen de los yacimientos de tal tipo. A ellas, primeramente, se refieren:

- 1.- La presencia en la región estimada de las secuencias

efusivo-piroclásticas, en su mayoría de composición andesítica.

2.- El amplio desarrollo de las formaciones de facies de chimenea de erupción (cuellos volcánicos y otros).

3.- El desarrollo de diques de porfiritas andesíticas que atraviesan tanto las secuencias efusivo-piroclásticas como los cuellos volcánicos.

4.- El predominio en la sección de las secuencias efusivo-piroclásticas de las tobas y aglomerados tobáceos.

La presencia de las zonas cuarcificadas, cloritizadas y piritizadas de fragmentación, esquistosidad y compresión y de otras dislocaciones tectónicas, así como de las vetas de cuarzo con manifestaciones de mineralización de sulfuros, es el criterio para la búsqueda de los yacimientos de tal tipo. Las formaciones del tipo de sombreros de hierro, aun sin índices de los minerales secundarios de cobre merecen una elevada atención. La presencia de las labores antiguas en tales áreas debe servir de criterio adicional para encontrar las concentraciones mineralizadas.

Los factores geológicos favorables de la formación y los criterios de prospección mencionados para los yacimientos del tipo analizado, deben tenerse en cuenta al proyectarse los trabajos de levantamiento y prospección en escala 1:50 000 y 1:10 000.

Al realizar trabajos más detallados de exploración y estimación hay que tener en cuenta algunas condiciones geológicas favorables que determinan la disposición de la mineralización en las estructuras del campo mineralizado y la formación de grandes concentraciones del metal. A tales factores se refiere la presencia de grandes zonas mineralizadas de fragmen-

tacion. Los bloques de las rocas intercalados entre las zonas casi siempre fueron observados quebrandados muy intensamente y eran un ambiente favorable para el desarrollo de las areas con mineralizacion diseminada y en forma de venillas. Los nudos del cruzamiento de una zonas mineralizadas de fragmentacion y las vetas de cuarzo y sulfuros merecen una cuidadosa atencion. Siguiendo el rumbo y buzamiento de las estructuras mineralizadas, hay que tener en cuenta el control litologico de la mineralizacion. Por regla general, las zonas mineralizadas grandes de fragmentacion estan situadas entre las tobas y no se observan los mantos y cuellos magmaticos de porfiritas andesiticas.

Hay que esperar la presencia de concentraciones de mineral de cobre de alta ley en la zona de entriquecimiento de sulfuros en el caso de que haya una zona grande, bien desarrollada, de oxidacion.

C a p i t u l o V

CARACTERISTICAS GEOFISICAS DEL
YACIMIENTO "EL COBRE"

Tal como se dijo en el capitulo II el grado de conocimiento geofisico de la region de El Cobre no es muy grande, sin embargo en los ultimos años se han efectuado varias investigaciones geologo-geofisicas en el yacimiento "El Cobre". Sin embargo estas investigaciones se han realizado solamente en el area conocida del yacimiento y no en toda el area afectada por los procesos hidrotermales, ademas conjuntamente con el desarrollo de estos proyectos no se ha realizado un estudio sistematico de las propiedades fisicas de las rocas y de las menas, lo cual ha dado por resultado que no se halla podido obtener toda la informacion que pueden ofrecer los mapas de isolineas obtenidos.

Sin embargo se han hecho algunas determinaciones de las propiedades magneticas las cuales permiten hacer una interpretacion cualitativa bastante satisfactoria de los campos observados; desgraciadamente no sucede lo mismo con las propiedades electricas ni las gravitacionales.

El analisis de las propiedades magneticas se puede resumir en los siguientes puntos:

1.- Las propiedades magneticas mas altas en la region corresponden a las porfiritas andesiticas.

2.- Las porfiritas cuarzo-feldespaticas se caracterizan por altos valores de la magnetizacion inducida.

- 3.- Las tobas presentan propiedades magneticas menores conjuntamente con los aglomerados tobaceos y las areniscas todas de composicion dacitica.
- 4.- por propiedades magneticas mayores se caracterizan los diques de andesitas y diabasas
- 5.- Los mantos de porfiritas andesitica se diferencian de las intrusiones en que no son magneticas.
- 6.- Las rocas encajantes, representadas por tobas, aglomerados tobaceos, etc todos de composicion andesitica, no son magneticos.
- 7.- En las zonas con alteracion hidrotermal todas las rocas son no magneticas inclusive las porfiritas andesiticas y las cuarzo-feldespaticas.

Debido a estas razones y para caracterizar las propiedades geofisicas del yacimiento El Cobre ²⁵ al que en el presente capitulo se efectuara la descripcion de la interpretacion geofisica de los distintos trabajos realizados anteriormente en esta zona, lo que dara una base para juzgar sobre las propiedades de las rocas y ademas facilitara la interpretacion de los nuevos datos que se obtendran, en la nueva zona a la cual corresponde este proyecto.

1.- TRABAJOS EN ESCALA 1:50 000

En lo que se refiere a los trabajos aeromagneticos efectuados en los años 1961-1962, puede decirse que al sur del poblado de El Cobre fueron revelados una serie de areas perspectivas para la busqueda de hierro, estas areas estan relacionadas con los contactos de los granitoides del macizo Sierra Maestra y distin-

tas rocas carbonatadas de la formacion Vinent infrayacente a la Cobre.

En esta region se observan anomalias positivas con una intensidad de hasta 12.5 milioersted, los autores de este trabajo relacionan estos valores tan altos de ΔT_a con las intrusiones de granitoides las cuales segun estos datos cubren un area mucho mayor que la señalada en el mapa geologico en escala 1:500 000.

En este levantamiento la zona del yacimiento "El Cobre" se caracteriza por un campo magnetico muy complicado, pero debido a la falta de suficiente cantidad de datos geologicos sobre el terreno asi como a la falta de conocimiento de las propiedades magneticas de las rocas que formaban el yacimiento es que se efectuó solamente una interpretacion esquematica de este campo.

Esta area se encuentra en su totalidad en una zona de campo negativo en el cual se observan tres maximos relativos con una intensidad de hasta -1 milioersted, en un fondo de -3 milioersted, dos de estos maximos relativos se corresponden en la superficie con los afloramientos de rocas intrusivas en la superficie.

Hacia el oeste y el suroeste del area de El Cobre, se observan una serie de anomalias positivas ΔT_a , las cuales tambien son interpretadas como el afloramiento o acercamiento a la superficie de pequeños macizos intrusivos.

2.- LEVANTAMIENTOS EN ESCALA 1:10 000.

Los resultados del levantamiento magnetico en escala 1:10 000 en el area del yacimiento El Cobre y que se muestra en el anexo 4, efectuados a partir del año 1962 pueden ser descritos de la manera siguiente, (es bueno tener en cuenta que las rocas mas magneticas de la region son las intrusiones de porfiritas andesiticas y que las zonas de alteracion hidrotermal se caracterizan principalmente porque todas sus rocas son no magneticas).

Para realizar el analisis de toda el area donde se han efectuado los trabajos esta se puede dividir en cuatro partes principales, de acuerdo con el caracter del campo fisico observado.

Una de estas partes esta situada al sureste de la magistral M-1 entre los limites de los perfiles (-10)-(56) de la magistral M-2; la parte norte entre los perfiles (-10)-(30); la parte sur entre los perfiles 22-50 (al sur de la magistral M-2).

Esta area se caracteriza por un campo magnetico positivo superior a 100 gammas; sin embargo , dentro de el se observan una serie de anomalias lineales submeridionales, caracterizadas por valores ΔZ menores en algunos casos hasta -150 gammas.

Los valores mas altos de ΔZ en los limites de esta area se observan al sur de la magistral M-1 entre los perfiles 42-54, lo cual se corresponde con la salida a la superficie de una intrusion de porfiritas andesiticas.

Los valores mas altos en esta area son causados tambien por las rocas de la intrusion, la cual ahora es que comienza a ser erosionada, estando cubierta por una capa poco potente de tobas, aglomerados tobaceos y mantos de porfiritas andesiticas los cuales son amagneticos.

Los campos lineales y bajos de ΔZ_a en los limites de esta area son caracterizados como zonas tectonicamente fracturadas y alteradas hidrotermalmente. En aquellos casos en que existen buenos afloramientos las fracturas pueden ser fijadas geologicamente.

El segundo grupo con un campo entre los limites de -100 y +100 gammas esta limitado por las magistrales M-1 y M-2 al sur, y la magistral M-5 al norte y noreste. Abarca en si al pueblo de El Cobre. El area esta cortada por la magistral M-3 dividiendose en el perfil 41 en dos partes. En la parte noreste ella esta limitada por el perfil 73 (M-3) y al sur por el perfil 30 (M-1).

El campo magnetico en los limites del campo es bastante tranquilo, con pequeños gradientes. Las anomalias suaves a lo largo de la magistral M-3 en los limites de los perfiles 1-25 estan condicionadas por ligeras aglomeraciones de minerales magneticos en la zona de oxidacion.

El caracter tranquilo del campo y los bajos valores de ΔZ_a estan relacionados con que:

- 1.- En los limites de la region se encuentran tobas, brechas tobaceas, aglomerados tobaceos de porfiritas andesiticas todos los cuales son no magneticos.

- 2.- Se encuentra una potente zona de rocas alteradas

hidrotermalmente, en los limites de la cual todas las rocas han perdido sus propiedades magneticas.

3.- Las rocas intrusivas en los limites de esta area se encuentran en las profundidades de mas de 300-400 metros. Esto ha sido conocido gracias a las perforaciones y a traves del levantamiento gravitacional realizado en esta zona. Por ejemplo en el pozo 68-B en el perfil 2 en la M-1, a la profundidad de 527 metros se encontro la intrusion de porfiritas.

La tercera area se encuentra en la magistral M-1 al oeste del perfil 41. Hacia el sur esta limitada por la terminacion de los perfiles y hacia el norte aproximadamente por las estacas + 30.

El campo magnetico en los limites de esta area tienen un caracter muy complicado. Primeramente el se caracteriza por una gran amplitud de variacion de ΔZ desde +1500 gammas hasta -2000 gammas; ademas es un campo con grandes gradientes. Ademas existen varias orientaciones de las anomalias.

En la constitucion geologica de esta region entran principalmente las porfiritas cuarciferas, las cuales se caracterizan por bajas propiedades magneticas y tambien las porfiritas andesiticas.

La estructura de mosaico del campo magnetico de esta region es causada por la division en bloques que esta presente en esta area a causa de fracturas tectonicas con direccion norte-oeste; norte-este y latitudinal. En el anexo 4 pueden notarse algunas fracturas tectonicas reveladas gracias al levantamiento magnetico.

Como resultado de la determinacion de las propiedades

fisicas se ve que las rocas que se encuentran en los limites de esta region poseen altos valores de la magnetizacion residual.

Por ultimo la cuarta area, se encuentra hacia el norte de la zona anterior en la parte ocupada por la magistral M-5.

El campo magnetico de esta parte se caracteriza por valores entre los limites de -500 a + 500 gammas, sin grandes gradientes. Lo caracteristico y distintivo de este campo lo es la direccion noreste de las anomalias magneticas; las cuales estan de acuerdo con la direccion de las rocas. Estas estan representadas por areniscas tobaceas, tobas y aglomerados de porfiritas daciticas las cuales son magneticas.

La alternancia de anomalias positivas y negativas esta condicionada por la alternacion de las rocas magneticas con las no magneticas.

Para aclarar lo anteriormente dicho del levantamiento magnetico, los datos obtenidos en los perfiles levantados gravitacionalmente y de acuerdo con las investigaciones geologo-estructurales en el yacimiento "El Cobre" se puede resumir lo siguiente:

El yacimiento coincide con una potente zona de rocas hidrotermalmente alteradas, la cual hacia el noreste va a lo largo de la carretera que une al pueblo de El Cobre con la carretera Central y tambien a lo largo de la magistral M-3 en la parte suroeste.

En la direccion sureste esta zona se va extinguiendo progresivamente. Si se toma el area del yacimiento como la situada a lo largo de la magistral M-3 entre los limites de los

perfiles 5-25 como centro, (estos perfiles no se muestran en el anexo 4) entonces desde el en direccion suroeste se fijan una serie de anomalias lineales negativas (grupos de los campos 1 y 3). Estas anomalias lineales negativas situadas en la zona de desarrollo de rocas magneticas se interpretan como zonas tectonicas y zonas alteradas hidrotermalmente.

De tal modo, el area del yacimiento esta situado en el lugar donde se cortan varias zonas tectonicas de distinta direccion.

Tambien, al parecer, los factores estructurales prueban entonces que el yacimiento coincide con una depresion no muy grande del macizo intrusivo. Esto parece estar confirmado segun los datos gravitacionales.

Segun los datos del levantamiento gravitacional y magnetico, se establece que los cuerpos intrusivos al sur de la magistral M-1 tienen un foco comun con los que afloran al norte de la magistral M-3. Esto ha sido comprobado por los trabajos de perforacion pues como anteriormente se dijo en el pozo 68B y a la profundidad de 527 metros fue encontrada la porfirita.

De acuerdo con el plano de Δ esta depresion se estrecha y acuña hacia el noreste; extendiendose y profundizandose hacia el suroeste. Por eso es que se puede suponer que la zona de mena tenga tal estructura. Los cuerpos de mena afloran a la superficie hacia la parte noreste de esta "trampa", en la parte suroeste los cuerpos de mena pueden ser ciegos y por eso en esta area no ha de brindar buenos resultados el metodo del campo natural.

La relacion genetica del yacimiento cuprifero de El Cobre con la intrusion de porfiritas dioriticas fue notado por Bogdanov (ver Cap. IV). Esta relacion fue comprobada tambien por la Geofisica.

Todas las anomalias del campo natural se interpretan como cuerpos situados en las proximidades de las rocas intrusivas (ver anexo 5).

Al comparar los resultados segun los metodos magnetometricos y del campo natural (anexos 4 y 5) se puede notar que todas las anomalias del campo natural que yacen en los limites de las zonas alteradas hidrotermalmente reveladas por el levantamiento magnetico, se interpretan como cuerpos.

Excluyendo las anomalias reveladas del campo natural que oscilan entre los limites de -25 a $+25$ mv. Esto es causado debido a la no existencia de sulfuros en las rocas encajantes. Esto crea un criterio favorable para la busqueda de zonas de mena en condiciones analogas.

En el proceso de la interpretacion fueron reveladas 7 anomalias de menas. Las anomalias No. 1-5 se describiran mas adelante cuando se haga referencia a los trabajos detallados en escala 1:2000.

La anomalia No. 6 (vea anexo 5) se encuentra entre las magistrales M-4 y M-3. Segun la isolinea -50 ella tiene las dimensiones de 900×300 metros. Al norte de ella limita con la anomalia No. 2 ; al suroeste en el perfil 7 (M-1) con la anomalia No.1.

En los limites del perfil 5 los valores anomalos concuerdan con un conocido cuerpo mineral, pero la interpolacion de

este a toda la anomalía, es falso, ya que el cuerpo de mena revelado en este perfil está rodeado por una gran zona de escombros los cuales contienen minerales sulfurosos.

El carácter menífero de esta anomalía se funda en las siguientes suposiciones:

1.- En la parte noroeste de esta anomalía se observan rocas intensamente alteradas tanto que son ya cuarcitas secundarias.

2.- En sus límites existen varios cuerpos de dirección meridional de porfirita andesítica, con los cuales están genéticamente relacionados los sulfuros.

En la parte este se revela la anomalía No. 7. Esta anomalía concuerda con una zona alterada hidrotermalmente, revelada por los datos del levantamiento magnético. La naturaleza mineral de esta anomalía concuerda con los datos de la metalometría.

3.- TRABAJOS EN ESCALA 1:2000.

A continuación se describirán los trabajos eléctricos y magnéticos efectuados en escala 1:2000 con el objeto de detallar las anomalías registradas por los trabajos de 1:10 000 y cuya metodología debe de ser observada también en los nuevos trabajos proyectados.

a.- Área de Mina Grande

En la anomalía del área de Mina Grande, la cual se encuentra en la parte central de los trabajos en escala 1:10 000, se encuentran aglomerados tobaceos, brechas tobaceas y tobas de composición andesítica; estas rocas están intensamente altera-

das sobre todo en la parte noroeste del area.

Dentro de los limites de esta area se efectuaron trabajos de exploracion electrica con una red de 50x20 metros. En ella fue observado un fondo del campo natural de hasta -50 mv y dentro de este campo fueron reveladas tres anomalias mas.

La mas significativa de ellas alcanzo el valor de -140 mv^x. El caracter menifero de esta anomalia es confirmado por un perfil geologico el cual pasa a traves de dicha anomalia, correspondiendole a este lugar un cuerpo mineral. No se excluye la posibilidad de que existan otros cuerpos minerales dentro de los limites de esta anomalia.

La parte suroeste de la anomalia No. 1 en los perfiles 13 y 15 y limitada por la anomalia -50 mv parece ser que esta condicionada por los escombros situados en este lugar y que contienen gran cantidad de sulfuros.

La anomalia No. 5 esta situada hacia el oeste del area de Mina Grande entre los perfiles 35-37 en la magistral M-1.

El pozo No. 83 efectuado en el perfil 37, pico a la profundidad de 30 metros un cuerpo mineral, con una potencia de 3 metros y con mineralizacion industrial de cobre.

Al hacerse el control de esta anomalia con el metodo del cuerpo cargado se llego a la conclusion de que la zona mineralizada se extiende hacia el oeste en mas de 70-80 metros y que la concentracion de los sulfuros es posible que disminuya hacia el oeste. Esto se deduce en base a los datos del metodo del cuerpo cargado y los del campo natural en los perfiles 39 y 41.

Hacia el este no se contornea la anomalia a causa de su estructura. Es posible el hundimiento del cuerpo hacia el noroeste.

Como posible cuerpo de mena puede ser interpretada la anomalía No. 4 en el perfil 21 estaca 6.

Segun los datos del metodo del cuerpo cargado la zona de mena se extiende, siendo interseptada por el pozo No. 66 en el perfil 29 a la profundidad de 150 metros.

Para efectuar la interpretacion de campo es bueno aclarar que entre los perfiles 29-31 se observaron varias fracturas en un espacio de 25-30 metros. La trinchera efectuada entre los perfiles 31-33 confirmo como primero, la existencia de una zona de mena en el area; como segundo la existencia de una serie de fracturas y el desplazamiento de la zona de mena en el plano y como tercero fue comprobado el hundimiento noreste de la zona de mena.

En los limites de esta area fue realizado el levantamiento magnetico segun una red de 50x20 y de 50x10 metros. Excluyendo toda una serie de anomalías locales tanto positivas como negativas, se debe hacer notar que el area se encuentra situada en un campo magnetico normal el cual oscila en los limites de -100 a +100 gammas, tendiendo a ser mas debil el campo hacia el noroeste.

Las anomalías locales son causadas por los sombreros de hierro que se encuentran en el area en los cuales existe magnetita de oxidacion y otros minerales magneticos.

Resumiendo puede decirse que vale la pena tomar en consideracion lo siguiente:

- 1.- Queda establecida la efectividad del metodo del campo natural en la revelacion de los cuerpos de mena que afloran a la superficie.

2.- Se considera la posibilidad de calcular las reservas en las nuevas zonas de menas (anomalía No. 5 y posiblemente la No. 4) así como en las ya conocidas.

3.- El ya citado método del cuerpo cargado permite seguir a través de los pozos perforados como por ejemplo en los pozos 66 y 83 el desplazamiento de la zona de mena entre los perfiles.

4.- La serie de anomalías locales de ΔZ_a positivas, sobre la zona de oxidación del yacimiento se pueden tomar como un criterio de búsqueda para yacimientos análogos en esta región.

b.- Área del Campamento (Anomalía No. 2).

El área se encuentra en el flanco noreste del yacimiento El Cobre, entre los perfiles 1-10 de la magistral M-1. A través del centro del área pasa la carretera que une al pueblo de El Cobre con la Carretera Central.

Desde el punto de vista geológico ella se encuentra dentro del límite de un área alterada hidrotermalmente. Solo en la parte noroeste y noreste se encuentran tobas dacítico-porfiríticas.

Esta zona ya desde el levantamiento en escala 1:10 000 del campo natural (vea anexo 5) había sido revelada como perspectiva.

Al efectuar el levantamiento según la red de 50x20 y de 50x10, en el centro del área se observa una anomalía de dirección sublatitudinal. Los tamaños de la anomalía según la isolinia de -50mv son de 300x50 metros. En ella se revelan

dos minimos del potencial. Estos minimos fueron revelados a traves de la interpretacion como cuerpos minerales. En estos minimos se efectuaron trincheras revelandose zonas mineralizadas con mucha hematita, cuarzo y otros minerales procedentes de los procesos de oxidacion.

En la parte noreste se nota otra anomalia cuyas dimensiones segun la isolinea de -50 mv es de 150x50 metros. En el perfil 8 se observa el valor minimo el cual es de -95 mv. Una trinchera abierta en este lugar encontro rocas alteradas hidrotermalmente. La mineralizacion no fue observada.

En los limites de esta area se efectuó el levantamiento magnetico segun una red de 50x20 metros. En el fondo negativo general de ΔZ de esta zona se revelan campos positivos de direccion noreste y noroeste. Estos campos se corresponden con una serie de tobas de porfiritas daciticas las cuales son magneticas. Un campo positivo al sur del area se corresponde con un cuerpo intrusivo.

De acuerdo con la intensidad del campo negativo ΔZ_a , en el area se fijan una serie de zonas tectonicas de dos direcciones; las de direccion noreste y las latitudinales.

De tal modo y de acuerdo con la interpretacion geofisica de los datos, se pueden establecer los siguientes criterios favorables para la busqueda de la mineralizacion de cobre.

- 1.- La interseccion de zonas tectonicas de dos direcciones.
- 2.- La existencia de pequeños cuerpos intrusivos.
- 3.- Las anomalias del campo natural, situadas entre las zonas de cruzamientos y los macizos intrusivos.

c.- A r e a O c c i d e n t a l (Anomalia No. 3).

El area se encuentra situada en el flanco oeste del yacimiento El Cobre, entre los perfiles 41-65 en la magistral M-1.

En la estructura geologica del area toman parte intrusiones de porfiritas andesiticas situadas en la parte sur, encontrandose mas al norte tobas, aglomerados tobaceos y areniscas tobaceas de composicion andesitica aun mas al norte se encuentran rocas alteradas hidrotermalmente de tal manera que a veces se encuentran cambiadas a cuarcitas secundarias.

En esta zona al efectuar los trabajos detallados en escala 1:2000 fueron revelados una serie de minimos locales del potencial, de los cuales los mas perspectivas son los siguientes. En el perfil 59 estaca 16.5 y 21.5 en el perfil 52 estaca 20.5 y en el perfil 49 estaca 17.

Los tres minimos del potencial fueron controlados a traves de trabajos mineros. La trinchera No. 13 en el perfil 59 entre las estacas 21-22 encontro una zona alterada hidrotermalmente con una intensa limonitizacion. La trinchera No. 15 en el perfil 59 entre las estacas 16 y 17 dos potentes zonas de alteracion hidrotermal con una potencia de 11 y 7 metros. La trinchera en el perfil 49 entre las estacas 16 y 17 encontro una zona de limonitizacion. En esta zona se perforo un pozo, pero la calcopirita encontrada desde los 30 metros hasta el final fue muy diseminada y pobre.

De acuerdo con la aplicacion del metodo del cuerpo cargado a esta anomalia se deduce que la zona mineralizada se encuentra entre los limites de los perfiles 47-51 teniendo una longitud segun la direccion de 100-120 metros. Segun los graficos

del potencial y de los gradientes en los perfiles 51 y 47 queda claramente establecida una zona de mena con direccion nores- te y con un buzamiento hacia el noroeste.

En esta area se realizo tambien el levantamiento magneti- co detallado en escala 1:2000. Una gran parte del area se carac- teriza por un campo magnetico negativo el cual depende de la zona alterada hidrotermalmente; pues como ya se dijo anterior- mente, todas las rocas, incluso las magneticas en la zona de al- teracion hidrotermal son no magneticas debido a la lixiviacion del hierro. Esta es la causa de la aparicion de campos magneti- cos negativos. Los campos mas altos en la parte sur y suroeste estan causados por las porfiritas andesiticas y cuarzo-feldes- paticas las cuales tienen propiedades magneticas elevadas.

El analisis de los resultados geofisicos en el area se pueden resumir en que:

1.- Segun los datos del levantamiento magnetico se deli- mita en la parte norte un cuerpo intrusivo no muy grande asi como una zona de rocas alteradas hidrotermalmente.

2.- Los trabajos mineros han comprobado la naturaleza mi- neral de las anomalias del campo natural.

3.- Segun los datos del metodo del cuerpo cargado se puede establecer el tamaño asi como la direccion y buzamiento de los cuerpos.

4.- CONCLUSIONES.

De acuerdo con los trabajos geofisicos anteriormente des- critos y realizados en el yacimiento "El Cobre" se ve que es

posible resolver un gran volumen de problemas geologicos, los que por metodos geologicos requeririan grandes gastos.

A traves de los metodos magneticos es posible resolver una gran cantidad de problemas relacionados con el mapeo y la tectonica de la region; ademas se ve que las zonas de alteracion hidrotermal siempre seran reveladas por el levantamiento magnetico y como ya se sabe los cuerpos de mineral estan relacionados con esta zona de alteracion.

El metodo del campo natural da excelentes resultados en la revelacion de los cuerpos minerales en si y si no se puede establecer hasta ahora, que todas las anomalias del campo natural limitadas por la isolinea -50 mv corresponden a un cuerpo mineral si es cierto que cada cuerpo conocido se manifiesta por un minimo que esta por debajo de los -50 mv.

El metodo del cuerpo cargado como metodo de control de las anomalias se ve da buenos resultados para la determinacion del tamaño de los cuerpos asi como para encontrar sus elementos de yacencia; no obstante debido a que se necesita de que el cuerpo aflore o de que existan pozos que lo intersepen, para efectuar su aplicacion es que recomendamos en los nuevos trabajos proyectados (donde no se efectuar por ahora sondeos) usar en lugar de este metodo del campo natural el metodo de la polarizacion provocada (PP) el cual puede resolver el problema al igual que el metodo del cuerpo cargado y en el caso del yacimiento "El Cobre" creemos que muchas veces mejor pues como ha sido descrito en la parte geologica de este proyecto existen una gran cantidad de cuerpos de mena los que tienen una minera-

realizacion del tipo stockworks, en la cual no existe una conexion electrica continua, fenomeno este que dificulta el metodo del cuerpo cargado no asi el de la PP.

Claro esta que este metodo de la PP solo se utilizara en aquellas areas donde sean reveladas anomalias del campo natural.

C a p i t u l o VI

DESCRIPCION DE LOS METODOS

A continuacion seran descritos los metodos que deben usarse en los trabajos proyectados.

En la descripcion no solo se explica la metodologia de aplicacion del metodo sino que se da tambien una breve explicacion teorica del fundamento del mismo.

El orden de explicacion seguido no es el mismo para cada metodo debido a las características particulares de estos.

I.- CAMPO ELECTRICO NATURAL.

1.- CAMPOS ELECTRICOS EN LA TIERRA

Al emplearse el metodo del campo electrico natural se encuentran siempre varios diferentes campos electricos.

Los campos electricos mas difundidos son aquellos que surgen a causa de los procesos quimicos creados en el contacto de los conductores electronicos con un medio ionico, filtracion de aguas, difusion de iones de soluciones acuosas, corrientes teluricas, corrientes de descargas electricas de tempestades, etc. Estos campos se llaman electricos, de filtracion, de difusion, etc.

Cada campo natural se caracteriza por sus particularidades en cuanto a la extension, intensidad y conducta a traves del tiempo. Las relaciones de cada uno con las condiciones geograficas es diferente y por lo tanto su valor para la exploracion electrica.

a.- Campos electroquímicos.

Se forman en presencia de los conductores electronicos que yazgan en un medio ionico. La intensidad del campo sobre todo depende de la constitucion mineral y de la estructura del conductor electronico asi como del grado de las propiedades de oxidacion-reduccion del medio encajante en el contacto.

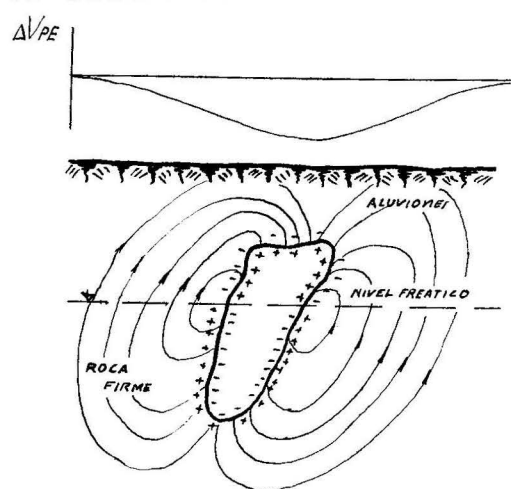


Fig. 3.- Esquema de la formación de un campo eléctrico sobre un cuerpo de mena.

Para crear campos electricos intensos hace falta que los minerales que componen el cuerpo tengan una gran conductividad electronica. A tales minerales pertenecen la mayoría de los sulfuros como son: pirita, calcopirita, pirrotina, galenita, arsenopirita, etc.

Los campos intensos pueden crearse cuando no solo algunos minerales tengan una alta conductividad sino el cuerpo completo. Por eso hace falta que el conductor este compuesto enteramente por minerales de alta conductividad electronica o lo que es lo mismo que estos tengan una relacion electrica entre ellos continua.

Como es sabido, en el contacto de los conductores electronicos y ionicos se forma una diferencia de potenciales. El valor de esa diferencia depende de la composicion quimica de la solucion que esta en contacto con aquel.

El campo electrico puede crearse solamente cuando este

salto del potencial va a ser distinto en diferentes partes del contacto. Una diferencia de potenciales a causa de la distinta composicion mineral del conductor no puede existir largo tiempo. Esta se anula por los procesos electricos provocados por la corriente electrica la que depende de la diferencia de potenciales.

La diferencia de potenciales provocada por la composicion quimica de soluciones puede existir largo tiempo y ser la causa de la creacion del campo natural con tal de que se restaure ininterrumpidamente la corriente de las soluciones en el contacto del conductor electronico.

El valor del potencial de electrodo de los conductores electronicos naturales segun los conocimientos actuales en general se determina por las propiedades de oxidacion-reduccion de las soluciones en que estos se encuentran.

La alteracion espacial de las propiedades de oxidacion-reduccion de las soluciones en el limite del conductor determina el cambio del potencial de electrodo y por consiguiente del salto del potencial en ese limite.

De este modo, campos intensos pueden crearse solo en condiciones de un gradiente bastante brusco de las propiedades de oxidacion-reduccion del medio encajante en su limite con el conductor electronico.

Este campo puede existir por largo tiempo solo cuando el gradiente se mantenga constante o casi constante.

Las aguas de lluvia filtradas a traves de la tierra y saturadas por oxigeno tienen altas propiedades de oxidacion. Una gran concentracion de oxigeno crea intensos procesos de

oxidacion y formar los componentes oxidados en la solucion. Con la profundidad la concentracion del oxigeno y de los componentes oxidados disminuye y el agua adquiere mas y mas un caracter de reduccion.

La composicion quimica de las soluciones de agua dependera en gran escala del tipo de rocas y mineral en las cuales se efectua la circulacion de las aguas. Especialmente influyen mucho en las soluciones sustancias quimicamente activas tales como los minerales sulfuricos. No obstante hay que notar que el problema de la formacion de soluciones en cuanto al caracter de las menas y rocas esta aun poco estudiado.

Con la profundidad se alteran las propiedades de las soluciones lo que adecuadamente influye en el valor del salto del potencial en el contacto del conductor con el campo electrico surgido alrededor del mismo.

Evidentemente para que los campos electricos creados puedan existir un largo tiempo no debe de detenerse el proceso de formacion de las soluciones. Sobre todo, hace falta que los procesos quimicos que forman las soluciones y crean las corrientes electricas predominen en mucho sobre los electroquimicos, durante los cuales al pasar la corriente a traves de la solucion resulta un proceso quimico inverso es decir la reduccion de los metales en la parte superior del cuerpo mineral y la oxidacion en la inferior.

La parte superior del cuerpo mineral que se halla en el medio de reduccion, se carga positivamente y la inferior que esta en la zona de oxidacion se carga negativamente, vea la figura 3.

El medio encajante en el contacto tiene signos inversos por eso sobre los depositos de menas, como regla se observan potenciales negativos, (vea fig. 3).

Los campos electricos naturales se crean no solo cuando los depositos estan representados por menas quimicamente activas, sino tambien en presencia de conductores electronicos quimicamente bien estables. Asi conjuntamente con los campos sobre las menas de pirita quimicamente activas se observan campos muy intensos sobre tales conductores quimicamente estables, como depositos grafiticos y mantos de esquistos grafitizados.

En este caso el gradiente de las propiedades de oxidacion-reduccion de las soluciones se efectua al parecer debido a las rocas encajantes y no a la oxidacion del conductor electronico.

Es caracteristico que sobre los conductores quimicamente estables se observa una intensidad relativamente grande de las anomalías del campo natural. En relacion con esto es necesario indicar la falta de base del argumento de que la existencia de una zona de oxidacion es una condicion necesaria para la existencia de un campo electrico.

La ausencia o pequeño espesor de la zona de oxidacion en los yacimientos de sulfuros en presencia de un gradiente de las propiedades de oxidacion-reduccion en el contacto del cuerpo mineral, al contrario favorece la creacion de campos electricos intensos en la superficie de la tierra.

La presencia de potentes zonas de oxidacion mas a menudo sirven de causa a la falta de notables campos electricos

en la superficie terrestre.

Eso sucede porque el campo en la superficie de la tierra disminuye bruscamente con la profundidad de la parte sulfurosa del cuerpo mineral. Al mismo tiempo a medida que aumenta la profundidad de yacencia de las menas primarias el gradiente de las propiedades de oxidacion-reduccion de las soluciones disminuye en los limites del cuerpo mineral.

Los cuerpos minerales que yacen a gran profundidad o tienen una zona profundamente oxidada se caracterizan por anomalias del potencial debiles por su intensidad y considerables por sus dimensiones. En la intensidad de las anomalias influye en gran escala la profundidad de las aguas subterráneas. La intensidad de los campos es considerablemente menor cuando el nivel de las aguas subterráneas pasa por encima del cuerpo mineral o a través de su parte oxidada.

A veces cuando las aguas penetran en los cuerpos minerales por las zonas de agrietamiento, se observa una complejidad de los campos lo que depende de la situación mutua de las zonas de agrietamiento y los cuerpos minerales. En el carácter e intensidad del campo influyen las dimensiones de los cuerpos minerales así como la resistividad de las rocas encajantes y de los aluviones.

b.- Campos de filtración.

Los campos de filtración se forman al filtrarse las aguas subterráneas en las rocas. Los más intensos de estos se crean en las condiciones de un relieve montañoso y en los valles de los ríos cercanos a sus lechos.

Las elevaciones desde las cuales las aguas se infiltran a las partes llanas se caracterizan por potenciales negativos con respecto a los valles. El valor del gradiente de los potenciales de filtracion es diferente en distintas condiciones y depende de la velocidad del movimiento de las aguas subterrneas, su mineralizacion, potencia, dimensiones profundidad de la corriente y otros factores.

En los valles de los rios se nota una elevacion del potencial en la direccion del movimiento de las aguas. Bajo el lecho el potencial se eleva o disminuye debido a que el rio alimenta a las aguas subterrneas o viceversa.

Los campos de filtracion actualmente se utilizan solo al realizar el carotage del campo natural para la determinacion de horizontes porosos.

c.- Campos naturales causados por la difusion.

Se forman en lugares de una alteracion brusca de las aguas mineralizadas. Los campos de difusion se observan mas a menudo en el contacto de las aguas subterrneas con superficiales.

Debido a la movilidad de los iones negativos y positivos y a la concentracion de sales en las soluciones contactadas las aguas superficiales tienen un potencial positivo o negativo. Ellos se caracterizan por una intensidad relativamente pequeña y se usan junto con los de filtracion, al realizar el carotage en los pozos de petroleo.

Segun la exploracion de los campos de difusion en la su-

perficie de la tierra, se puede descubrir y contornear las zonas de las aguas mineralizadas que se encuentran a poca profundidad.

2.- EJECUCION DE LOS TRABAJOS.

a.- Tareas, escalas y red.

La tarea principal del metodo del campo natural consiste como ya se ha dicho en la busqueda de los yacimientos de minerales asi como para el mapeo de las rocas que poseen conductividad electronica. Aparte de la busqueda con ayuda de este metodo se resuelven algunos de los problemas de la exploracion como son: observacion de los yacimientos ya descubiertos, evaluacion aproximada de las reservas, profundidad de yacencia, direccion, etc.

Debido a la finalidad de la utilizacion asi como a la profundidad estimada de yacencia de los cuerpos buscados es que se eleige la escala de los trabajos, en nuestro caso y como estamos resolviendo problemas de busqueda la primera escala empleada sera la de 1:10 000 y en las anomalias que se revelen se empleara despues la escala 1:2000. En general la red se toma de forma rectangular en este caso de 100 x 20 y de 50 x 10, los perfiles siempre se orientaran a la direccion supuesta de los cuerpos minerales.

El hecho de tomar una u otra escala tambien esta en funcion del tamaño de los cuerpos que se buscan pues cuando se realizan las tareas de busqueda se escoje una escala en la cual el cuerpo se revele por 3-5 puntos en cada perfil y en 2-3 perfiles, al realizar la exploracion se elige de manera que pueda

ser contorneado perfectamente todo el cuerpo.

Claro esta que al trabajar en escalas como la de 1:10 000 debe anteriormente trazarse la red topografica; la longitud de los perfiles debe de ser cerca de 2 Km, en las escalas mas grandes el tamaño de los perfiles se determina de acuerdo con el problema a resolver.

b.- I n s t r u m e n t o s .

Las observaciones se efectuaran con un potenciómetro E/7-1. Para efectuar el contacto con tierra se emplearan electrodos no polarizables y para efectuar el contacto cable de clorovinil corriente.

Una cuestion muy importante al trabajar con este metodo es la atencion a los electrodos no polarizables y su tratamiento correcto. Se debe prestar atencion a la seguridad y hermeticidad del aislamiento del eje de cobre del electrodo en el tapon y de su limpieza.

Los electrodos deben de llenarse con una solucion de sulfato de cobre quimicamente puro. Para lograr una identidad de concentracion y de temperatura de la solucion que llena los electrodos es que todos los que trabajen en un mismo perfil deben de llenarse de la misma solucion. Una cuestion importante es que los electrodos esten llenos completamente.

Al efectuar un receso mas o menos prolongado en el trabajo los ejes junto con los tapones se extraen, se secan con un paño blando y se envuelven en algodón; los vasos porosos se depositan en agua. Al terminarse el periodo de los trabajos de campo los vasos porosos se lavan, se secan y se guardaran con los tapones destornillados.

La comision que trabaje en los perfiles debera tener 3-4 juegos de electrodos no polarizables y de 1-2 tapones de reservas y la solucion de sulfato de cobre unos 0.5 litros.

Para el trabajo debe elegirse un complejo de electrodos los cuales muestren la diferencia de potenciales mas baja y constante. La diferencia de potenciales de un par de electrodos (polarizacion de los electrodos) con igual concentracion y temperatura en la solucion no deben sobrepasar a 2 mv.

La polarizacion de los electrodos se medira observando las diferencias de los potenciales entre los electrodos situados en tierra humeda y muy cerca el uno del otro. La estabilidad de la polarizacion se controla mas de una vez (5-10) con el cambio de lugar, sacudimiento y agitacion de los electrodos y segun la diferencia de las polarizaciones medidas al principio y al final de las observaciones en el perfil.

Durante el trabajo los electrodos no polarizables se colocaran en el suelo ablandado donde se hayan efectuado pequeños fosos. Si el suelo estuviera seco debe humedecerse con agua. Para hacer contacto en lugares rocosos debe de hecharse tierra.

2.2.2. Metodica de los trabajos.

Al trabajar con el metodo del campo natural se puede trabajar con dos metodos. En el primer procedimiento se mide el potencial en todo el perfil con respecto a un punto fijo; a este metodo se le llama metodo del potencial,

En el segundo procedimiento se miden las diferencias de potenciales entre dos puntos vecios del perfil. A este metodo se le llama metodo del gradiente. En el presente proyecto sera utilizado solo el metodo del potencial y por eso sera el que se explique.

El impedimento principal para el uso del metodo del potencial lo es la existencia de corrientes erraticas las cuales no deben existir en la region a estudiar.

Los trabajos del metodo del potencial se efectuan con un electrodo inmovil y el otro movil. Pueden ser usados varios sistemas de trabajo de los

cuales los mas corrientes son los siguientes: el observador con el potencio--metro y la bobina se encuentran en el punto del electrodo inmovil. De este punto to sirve generalmente el

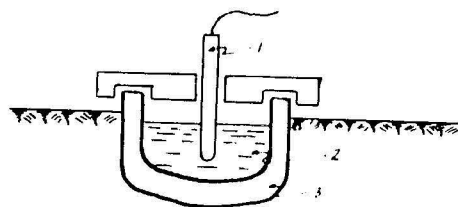


Fig.4.- Electrodo no polarizable
1) electrodo de cobre, 2) solución de sulfato de cobre, 3) vaso poroso.

punto cero del perfil. El electrodo se situa a unos 0.5 - 1 metro de distancia del punto cero en un hueco humedo y se conecta con el borne N del potenciometro. El electrodo movil a traves de la bobina se conecta con el borne M del potenciometro.

Las observaciones se comienzan con la medida de la diferencia de potenciales en los electrodos, despues el electrodo se trasladara sucesivamente desde el punto de cero al primero, segundo, etc midiendose en cada caso la diferencia de potenciales

Despues de que se haya recorrido el perfil en una direccion se comenzara a enrollar el cable deteniendose cada decimo punto para efectuar las observaciones de control. Se recomienda que

se efectue simultáneamente en ambas direcciones del perfil las mediciones utilizando para ello dos bobinas y dos pares de electrodos, tal metodología lo que requiere es que se preste mas atención sobre todo en el momento de efectuar las anotaciones, para evitar confusiones.

Un esquema de la medida del potencial en un perfil se da en la figura 5.

Al realizar el cambio de los perfiles se deberá de hacer el amarre de las observaciones. Para eso se efectuaran dos observaciones: una con el electrodo móvil situado en el punto cero (de amarre) del perfil donde ya se han terminado las

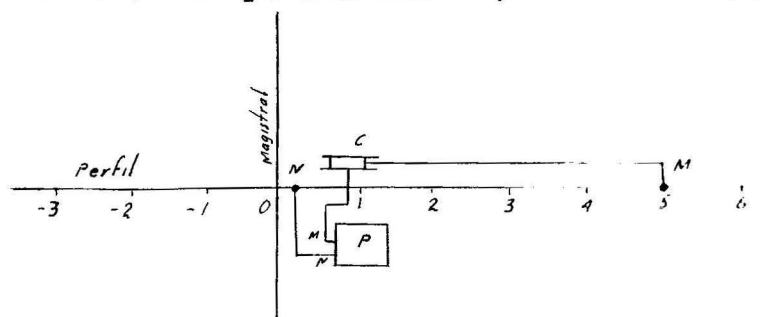


Fig. 5.- Medida del potencial.
P-potenciometro, C- carrete, MN electrodos.

observaciones y la otra al realizar el traslado del electro-movil al punto cero del siguiente perfil.

Cada medicion se debera de repetir de 2-3 veces. La diferencia entre los valores medidos de la segunda y de la primera medicion se considerara como la diferencia de potenciales entre los puntos cero de los perfiles dados.

Al mismo tiempo que se realicen las observaciones se anotaran los valores de la medicion y se construira la curva del potencial. Los valores del potencial se incluyen en

el grafico hasta la señal del cambio del punto del electrodo. En el campo todas las curvas se dibujaran en relacion con el potencial del punto donde se encuentra el electrodo inmovil. Para reducir todos los graficos a un solo cero del potencial sera suficiente, mover las lineas de cero (ejes horizontales) de las curvas a diferentes potenciales a un solo cero el cual se considerara como tal para toda el area.

d.- C o n t r o l y a p r e c i a c i o n d e
l a e x a c t i t u d d e l a s o b s e r v a c i o -
n e s.

En el proceso de las observaciones cada 10 puntos se efectuaran las mediciones repetidas sin ninguna alteracion en el esquema y cambio de posicion de los electrodos.

Se repetiran tambien las mediciones en todos los saltos de la curva o de un cambio brusco. En las regiones donde los saltos de la curva superen la oscilacion normal en mas de tres veces se efectuaran observaciones en los puntos intermedios.

Si los lugares de saltos de la curva no se controlasen y no se detalla, todo el perfil sera considerado defectuoso.

El volumen de los trabajos de control es variable en funcion del trabajo que se realice, nosotros trataremos de que sea aproximadamente del 10% de todos los trabajos.

En calidad de perfiles de control seran elegidos aquellos mas importantes y caracteristicos, asi como tambien los perfiles con las curvas mas complicadas . El control debera de realizarse sobre todo en las zonas con anomalias. Los perfiles

de control se situaran proporcionadamente en toda el area.

La exactitud de las observaciones del metodo del potencial se aprecia por la diferencia promedio entre las observaciones de control y las repetidas. La diferencia media admisible como maximo no debe ser mayor de 5 mv.

La divergencia de las observaciones en diferentes puntos no puede sobrepasar a los 15 mv.

e.- Trabajos de gabinete.

Los trabajos de gabinete comenzaran desde el comienzo de la organizacion del levantamiento en un sector. Antes de realizar las observaciones debe de ser confeccionado un esquema en pequeña escala asi como el plano de la situacion de los trabajos geofisicos en la escala del levantamiento.

La elaboracion de gabinete comenzara con los trabajos de campo y terminara al final de los mismos.

Los resultados de las observaciones de campo se presentaran como planos de graficos o graficos del potencial y planos de isolineas del potencial.

Analizando estos materiales se confeccionara un plano de los resultados geologicos de los trabajos.

El esquema de pequeña escala debe ser confeccionado en base de la topografia o de una red de coordenadas y orientado correctamente. En el se señalaran los contornos del sector, posicion de la magistral y de los perfiles, numeros de los perfiles o de los puntos extremos.

El plano de la situacion de los trabajos se dibujara en la escala del levantamiento (1:10 000 o en las escalas detalladas).

En el plano se señalaran todos los perfiles y magistrales, todos los puntos de observación indicando el número de los perfiles, etc. Las distancias entre los puntos del perfil se proyectaran horizontalmente.

La escala del potencial se elige de acuerdo a las finalidades, carácter del campo y exactitud de las observaciones. Como estándar y para el presente trabajo se recomienda la escala de $1\text{ cm} = 10\text{ mv}$ para los campos tranquilos y $1\text{ cm} = 100\text{ mv}$ para los campos de anomalías de gran intensidad.

Las curvas construidas del potencial deben de ser reducidas al único punto de cero adoptado para toda el área de los trabajos. Para ello será necesario conocer los potenciales de los puntos de amarre del perfil en relación con este punto único o la diferencia de los potenciales entre los puntos de amarre de los perfiles vecinos.

Los mapas de los resultados geológicos se confeccionarán en la escala del levantamiento. En ellos se incluirán todas las zonas de anomalías, elementos de yacencia y otros datos obtenidos durante los trabajos geofísicos.

Se presentarán mapas topográficos del sector de los trabajos con horizontes los cuales reflejen bien el relieve en la escala del levantamiento.

Conjuntamente con las observaciones y elaboración de gabinete se analizarán los materiales. Según los planos de gráficos y de isolíneas debe ser determinada la naturaleza de las anomalías y sus características generales así como calcular aproximadamente las formas y tamaños y en caso de ser posible la profundidad de yacencia de los cuerpos que

provocan las anomalías. Los resultados obtenidos deben de ser cuidadosamente comparados con la situación geológica y geomorfológica de la región.

Al realizar el estudio de las anomalías de la región hay que prestar atención a datos tales como: relieve, mineralización de las rocas por sulfuros, corrientes de aguas, etc.

II.- METODO DE LA POLARIZACION PROVOCADA (PP).

1.- PRINCIPIOS GENERALES.

Este método está basado en el estudio de los campos eléctricos secundarios registrados en la tierra después de haber transmitido a esta impulsos de larga duración de corriente continua.

Si una corriente continua se conecta a tierra y luego es desconectada, transcurrido un tiempo después de haber realizado la desconexión entre los electrodos puestos a tierra se puede observar una diferencia de potenciales, vea la figura 6. Esta diferencia de potenciales recibió el nombre de polarización provocada. La naturaleza de este fenómeno no ha sido aclarada aun completamente; sin embargo se pueden notar algunas peculiaridades y regularidades que rigen estos fenómenos, las más importantes son:

1.- Al prolongar el tiempo de conducción de la corriente polarizante la polarización provocada crece primero rápidamente y después más lentamente, transcurrido cierto tiempo alcanza su valor máximo, (vea fig. 7).

2.- La magnitud de este valor máximo depende de la fuer-

za de la corriente polarizante, en los primeros momentos

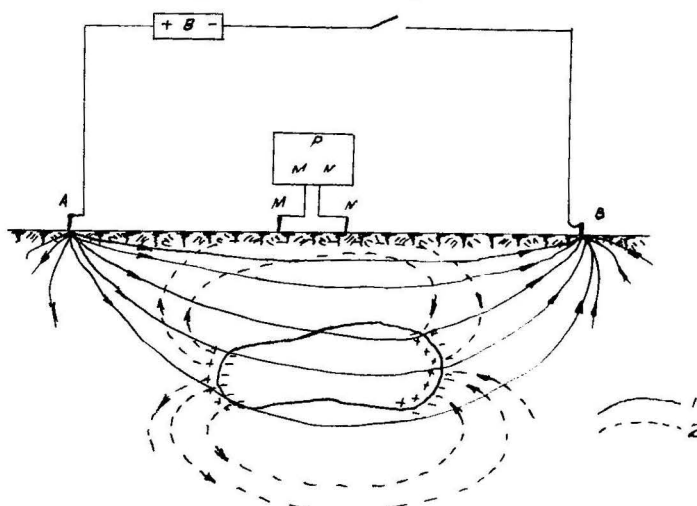


Fig. 6.- Naturaleza del metodo de la PP.
1- líneas de la corriente del campo primario; 2- líneas de la corriente del campo secundario; B- batería; P- aparato de medida.

ella es proporcional a la corriente.

3.- La magnitud de la polarizacion provocada y el caracter de su disminucion depende del medio en el que se encuentra.

4.- La polarizacion provocada disminuye segun una ley cercana a la exponencial.

La gran sensibilidad del metodo de la PP a los minerales conductores diseminados en la roca lo hace importante para la busqueda de los yacimientos en los que los minerales son electro-conductores. Esta es una de las ventajas que ha de tener este metodo sobre otros que se han empleado en la zona del Cobre.

El metodo de la PP reacciona aun ante una pequeña diseminacion de los minerales, por eso su uso mas razonable sera para la busqueda y contorneamiento de amplias zonas de minera-

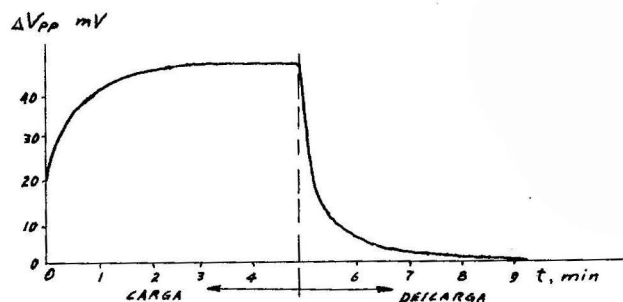


Fig. 7.- Dependencia de ΔV_{PP} del tiempo de carga y de descarga.

lizacion sulfurica dispersa en el area de los campos minerales.

A diferencia de otros metodos de la exploracion electrica el metodo de la PP permite revelar los cuerpos minerales profundos debido a las aureolas de dispersion, asi como descifrar la naturaleza de las anomalias de la conductividad excluyendo las zonas con aguas, de agrietamiento, trituracion, aluviones saturados con agua, etc.

El relieve del terreno y la heterogeneidad de la resistividad de las rocas no crea falsas anomalias de la polarizacion provocada.

El lugar del metodo de la PP en el complejo de busqueda y exploracion se determina por los siguientes factores:

1.- Con el metodo de la PP se puede revelar exactamente los cuerpos con conductividad electronica.

2.- Las anomalias de la PP se crean por los minerales electro-conductores; pero no se puede determinar su composicion mineralogica segun los datos de la PP.

3.- La productividad de este metodo es inferior y el precio es superior a los otros metodos electricos.

4.- Por el metodo de la PP se pueden obtener datos de dos

parametros electricos o sea: polarizacion aparente ρ_a y resistividad aparente ρ_a .

2.- METODICA DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.

Los trabajos segun del metodo de la PP se efectuan en los perfiles para controlar las anomalias de otros metodos (este es nuestro caso) o en un area donde se realizan trabajos de busqueda y exploracion.

El levantamiento en la escaladetallada tal como el que se proyecta se utilizara para el estudio de zonas conocidas o perspectivas de mineralizacion, con el fin de determinar dentro de estas sectores con una alta concentracion de materiales electono-conductores, asi como para la busqueda y contorneamiento de zonas mineralizadas relativamente pequenas.

En el metodo de la PP pueden ser usadas todas las posiciones de electrodos que se utilizan en el metodo de las resistencias, las principales son: gradiente, perfilaje combinado y sondeo vertical. En nuestro caso recomendamos sea utilizada la instalacion del metodo de los gradientes. Dicho tipo de instalacion se muestra en la figura 8.

La instalacion del gradiente con electrodos de alimentacion inmoviles se emplea cuando el generador produce una corriente polarizante suficiente como para cubrir la distancia de los electrodos de 5 - 10 veces mayor que la profundidad de yacencia de los cuerpos buscados.

La utilizacion de la instalacion del gradiente es razonable si con una colocacion de los electrodos de alimentacion se logra medir en no menos de 5-10 posiciones de los electrodos de

recepcion.

El alejamiento posible del centro de la linea receptora del electrodo de alimentacion mas proximo AO depende de la fuerza de la corriente polarizante, del nivel de las interferencias y de otros factores.

Para que la señal util sea medible ΔU_{PP} tiene que superar mas de 10 veces el nivel medio de las interferencias E

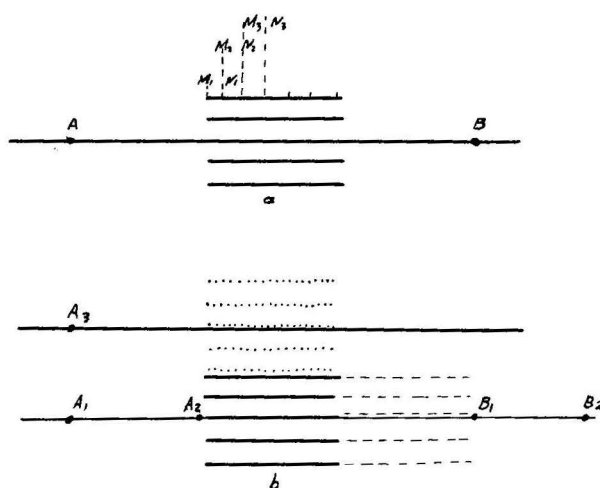


Fig. 8.- Orden de los trabajos al efectuar el levantamiento con el metodo de los gradientes.

a- distribucion de los perfiles y cambio de los electrodos de recepcion a traves del perfil; b- distribucion de las areas.

Es necesario tener la fuerza de la corriente determinada segun la formula siguiente:

$$I \geq \frac{10 \pi E A \bar{O}^2}{\rho_a \eta_a MN}$$

donde:

- I - intensidad de la corriente en amperios
- AO y MN - separacion de los electrodos en metros
- ρ_a - resistividad aparente en ohmm
- η_a - polarizabilidad en unidades relativas
- E - valor de las interferencias en voltios

El nivel de las interferencias (E) depende de la cercanía de equipos electricos industriales (ferrocarriles electricificados, minas con vagonetas electricas, etc). En las regiones alejadas de las fuentes de interferencias intensas, la zona a estudiar cae dentro de este grupo, el valor de E se determina por la inestabilidad de los propios potenciales de los electrodos receptores la que durante el trabajo de 3 minutos no sobrepasa a unos 0.3 mv.

3.- EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE CAMPO.

Los trabajos por el metodo de la PP se realizaran en la red de observaciones trazada de antemano. Antes de iniciar las observaciones el operador debera de conocer bien el sector, indicar el lugar de la puesta de la estacion, determinar los sitios de colocacion de los contactos con tierra, asi como apreciar el caracter y nivel de las posibles interferencias.

El grupo de medicion de la estacion 8/7-59 (vea fig. 9) se instalara cerca del perfil de observaciones y el generador a una distancia mayor de 20 metros del perfil. Si el camino hacia los perfiles es dificil, los aparatos se pueden disponer a una distancia mayor del perfil con tal de proporcionar una buena relacion con los obreros del perfil.

En el perfil se situaran los electrodos receptores y de alimentacion,; tendiendose las lineas de los cables de alimentacion, de recepcion y de los telefonos. Se preparan los fosos para la colocacion sucesiva de los electrodos receptores (si el suelo estuviese seco es necesario humedecerlo).

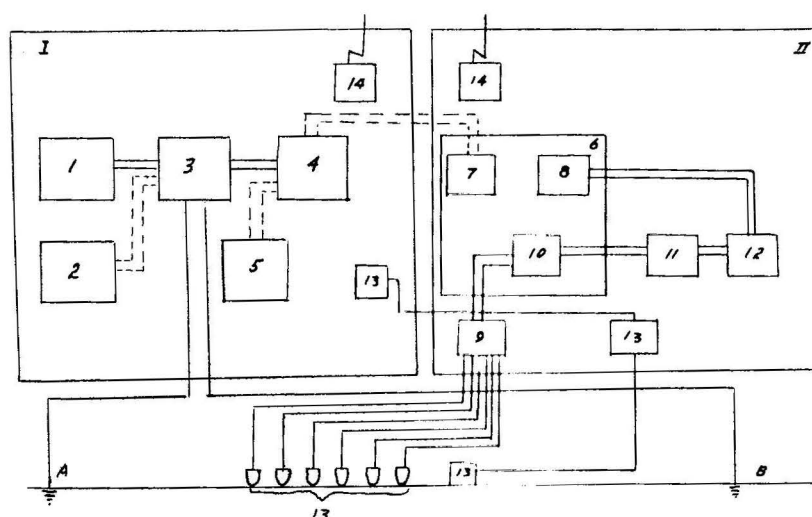


Fig. 9.- Esquema de bloque de la estación B/7-59.

I.- Grupo del generador: 1- generador $\pi H-100$, 2- block de baterías 69-ГРМЦ-6, 3- panel de fuerza, 4- panel de dirección, 5- reostato de balance de la carga admisible; II.- Grupo del laboratorio: 6- panel de dirección 7- interruptor, 8- marcador del tiempo, 9- panel de distribución, 10- block compesador de la polarización, 11- $\partial AA-58$, 12- oscilografo $\partial NO-7$, 13- telefono de campo, 14- estación de radio P/MC , 15- electrodos de medida.

El operador del grupo de medición conectara todos los bloques del equipo y comprobara su disposición para funcionar. Los bloques de la estación B/7-59 es necesario comprobarlos siempre antes de comenzar los trabajos así como durante este periodicamente.

En la posición del gradiente la distancia entre los electrodos de alimentación debe superar la profundidad de yacencia de los cuerpos buscados en 5-10 veces y las distancias entre los electrodos receptores no debe ser menor de la potencia horizontal del cuerpo por la línea del perfil.

Los perfiles se trazaran paralelamente a la línea de alimentación orientada transversalmente al cuerpo buscado. Durante los trabajos en un perfil los electrodos de alimentación se sitúan

en el mismo y las mediciones se efectuaran en todos los segmentos del perfil comenzando desde un electrodo de alimentacion al otro.

Cerca de los electrodos de alimentacion en la zona de altos valores del campo polarizante las mediciones hay que hacerlas con una reducida cantidad de varillas en el contacto con tierra y con una fuerza de corriente menor que en el centro de la linea de alimentacion. En caso de ser revelada una anomalia de la PP cerca del electrodo de alimentacion se efectuaran mediciones complementarias al otro lado de este electrodo. Este trozo del perfil debe ser mayor de la distancia entre la anomalia revelada anteriormente y el electrodo de alimentacion.

Al realizar el levantamiento de un area, aparte del perfil central en el que se situan los electrodos de alimentacion las mediciones se pueden realizar en los perfiles vecinos que se encuentren del perfil central a una distancia no mayor de $1/4$ de la de los electrodos de alimentacion.

En el perfil central las mediciones se haran en todos los segmentos del perfil desde un electrodo de alimentacion hasta el otro y en los perfiles vecinos solo en la mitad del mismo entre los electrodos de alimentacion.

4.- CONTROL Y EXACTITUD DE LAS OBSERVACIONES.

El control de las observaciones se hara repitiendo las mediciones. El operador tendra que repetir las observaciones en todos los puntos medidos bajo condiciones de grandes interferencias o desviaciones del grafico general de η_a y ρ_a .

Son indispensables las mediciones repetidas en los puntos de valores negativos de η_a . Si hay saltos del grafico marcados con un solo punto, sera necesario mover la linea receptora a la mitad del paso a uno u otro lado; efectuando mediciones complementarias asi como repetir los puntos vecinos. Las mediciones de control se efectuaran con otra intensidad de la corriente polarizante o despues de haber transcurrido un tiempo de la primera medicion.

El volumen general de las mediciones de control debe de tratarse que sea del 10% del volumen de las observaciones totales.

La cantidad de observaciones y el nivel de las interferencias se aprecia al analizar las curvas de disminucion de la tension de los potenciales provocados. La tension de la PP correspondiente a los 0.5 seg despues de desconectar la corriente, esta relacionada con la diferencia de la tension de la PP en dos momentos del tiempo o sea 0.5 y un tiempo t cualquiera a traves de la siguiente ecuacion:

$$\Delta U_{PP(0.5 \text{ seg})} = \frac{\Delta U_{PP(0.5 \text{ seg})} - \Delta U_{PP}(t)}{1 - \mathcal{T}(t)}$$

los valores de $\mathcal{T}(t)$ se dan en la tabla II

t_{seg}	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	60.0
$\mathcal{T}(t)$	1.00	0.84	0.73	0.55	0.44	0.20

Tabla II.- Relacion entre $t_{\text{seg.}}$ y $\mathcal{T}(t)$

El error relativo de la determinacion de $\Delta U_{PP(0.5 \text{ seg})}$ tomado del oscilograma y del calculo no debe sobrepasar al 10%.

5.- TRABAJOS PREPARATORIOS Y AUXILIARES.

En la línea receptora se usaran electrodos de la misma construccion que en el metodo del campo natural. Las reglas de prepararlos y de mantenimiento seran las mismas que las descritas al hacer la caracterizacion del metodo del campo natural.

Los contactos con tierra de la línea de alimentacion deberan de tener una resistencia lo mas baja posible asi como invariable en el tiempo que se trabaje con esa posicion. Una disminucion de la resistencia de los contactos con tierra puede lograrse utilizando una gran cantidad de varillas, enterrando como masa tubos metalicos, pedasos de hierro, etc. asi como siendo colocados en lugares humedos o humedociendo el lugar donde estos se coloquen, sobre todo con agua salada. Las varillas de hierro se uniran previamente en grupos de cinco. El lugar de conexion de la varilla con el cable debe cubrirse con un aislante.

La distancia de las varillas entre si no debe de ser menor del largo de la varilla.

Las varillas se situaran en una o varias filas perpendicularmente al perfil, si resultara dificil colocar las varillas en una posicion dada estas se podran mover por el perfil a uno u otro lado del mismo a los lugares mas favorables. La posicion del contacto con tierra se anotara en la libreta y se tendra en cuenta al calcular la ρ_a .

6.- DOCUMENTACION Y ELABORACION DE CAMPO DE LOS MATERIALES.

El documento primario y principal de campo como siempre lo sera la libreta de campo y la cinta del oscilograma.

Si se trabajase con un aparato oscilografico tal como el de la B/7-59, en la libreta se anotara lo siguiente: numero ordinal (este obligatoriamente debe coincidir con el numero del cuadro correspondiente en la cinta oscilografica), posicion de los electrodos receptores, fuerza de la corriente en la linea de alimentacion, sensibilidad de los instrumentos de medicion al determinar $\Delta U_{\text{corriente}}$ y ΔU_{PP} , se hara la anotacion de las tensiones restantes en los electrodos receptores (potencial de electrodos), valor de $\Delta U_{\text{corriente}}$ y de ΔU_{PP} , coeficiente de posicion de los electrodos K, asi como η_a y ρ_a .

Los graficos de η_a y ρ_a se dibujaran en hojas milimetradas indicando las areas, escalas horizontales y verticales, denominacion de la comision y de la brigada, fecha, numeros de libretas y cintas oscilograficas asi como los signos convencionales. Sobre todo se da un esquema de la situacion de los perfiles, señalando las distancias de las lineas receptora y de alimentacion, fuerza de la corriente polarizante y la posicion de las puestas a tierra de alimentacion.

En el grafico se apuntaran todos los resultados de las observaciones incluyendo las de control y de repeticion. En las mismas hojas y en la misma escala horizontal al pie de los graficos de η_a y ρ_a se dibujara el relieve y forma del territorio donde se deberan anotar tambien los rios, caminos, puentes, etc; tambien es muy importante la situacion geologica: caracter de los aluviones y de las rocas firmes en los afloramientos, presencia en las rocas de materiales conductores de la electricidad.

La escala horizontal de los graficos sera la misma del levantamiento o para mayor comodidad mas grande.

La escala vertical se tomara de manera tal que de una nocion evidente sobre la dimension y forma de las anomalias. Se recomienda como estandar las escalas de 1,2 y 5 % para ρ_a en 1 centimetro; para ρ_a 50, 100, 200, 500 y 1000 ohmm. Las partes del grafico cuya escala sea demasiado grande o pequeña se repetiran en una escala complementaria mas conveniente.

Al principio y al final del grafico se anotaran los valores de ρ_a y ρ_a .

La elaboracion de campo de los materiales hay que efectuarla diariamente. Las cintas fotograficas se revelan en el mismo dia de sacar el oscilograma, su elaboracion al dia siguiente y la terminacion de toda la elaboracion de campo debe ser antes de 2-3 dias de acabar las mediciones en el perfil.

7.- ELABORACION DE GABINETE DE LOS MATERIALES Y SU INTERPRETACION.

Los trabajos de gabinete consistiran en acabar la elaboracion de campo de los materiales obtenidos, su interpretacion y elaboracion del informe. Estos trabajos se realizaran por un grupo formado por el geofisico, geologo, operadores, etc. este grupo luego de examinar todos estos materiales dara un resumen sobre la naturaleza de las anomalias de la PP.

En todos aquellos casos en que sea posible se apreciara cuantitativamente la profundidad, elementos de yacencia y dimensiones de los cuerpos investigados.

Como resultado de la elaboracion de gabinete deben de ser preparados los siguientes materiales:

1.- Mapa de situacion del area.

2.- Mapa geologico con la base topografica en la escala del levantamiento por el metodo de la PP, donde debe de estar determinada la situacion y numero de los perfiles asi como el contorno de las anomalias de la PP. En el mismo mapa deben ser incluidas las anomalias geoquimicas y geofisicas para aclarar la naturaleza y perspectivas de las anomalias de la PP.

Los mapas geologicos se acompañaran de cortes geologicos y graficos de η_a y ρ_a en los perfiles mas caracteristicos.

3.- Planos de graficos de η_a y ρ_a hechos en la misma hoja de papel. Bajo el eje horizontal de cada grafico se dibujara el relieve y forma de este indicando los indices principales de la formacion geologica y anomalias de otros metodos.

4.- Graficos de las observaciones de control.

III.- MAGNETOMETRIA

1.- CAMPO MAGNETICO.

En la exploracion magnetica se utiliza el campo magnetico natural de la Tierra, el cual es conocido desde hace mucho, a traves de su efecto sobre la aguja magnetica de la brujula.

Se sabe que el campo magnetico no es constante en el tiempo, sino que existen variaciones periodicas que pueden ser anuales, cada once años, cada siglo, etc. Pero ademas de estas variaciones periodicas, las cuales no tienen sentido para la exploracion magnetica; pues su periodo de desarrollo dura casi siempre mas que lo que suelen durar los trabajos de campo, existen variaciones diurnas, las que en Cuba no son muy grandes pues

estas solo alcanzan de 20-30 γ . Tambien existen las llamadas tempestades magneticas causadas por fenomenos solares que cuando se manifiestan es necesario la suspension de los trabajos hasta que hayan sido restablecidas las condiciones normales. Estos tipos de variaciones no periodicas es necesario observarlas en el area de trabajo y luego excluirlas de los valores observados.

2.- TAREAS, ESCALAS Y RED.

Como ya fue citado en el capitulo precedente, se ha visto que en la region de El Cobre el levantamiento magnetico da buenos resultados para la revelacion de las zonas alteradas hidrotermalmente, con las cuales estan relacionados los cuerpos de menas; asi como tambien para efectuar el levantamiento de las distintas rocas que componen la region y para la ubicacion de elementos tectonicos tales como zonas de fracturas, etc. En resumen con ayuda de este metodo es posible hablar sobre algunas de las condiciones geologicas de la region.

Por esa razon es que se recomienda tambien su ejecucion en la nueva region a estudiar geofisicamente en escala de busqueda o sea 1:10 000. En este metodo al igual que en el metodo del campo natural la red utilizada sera de 100 x 20 metros. Esto esta de acuerdo con la regla de "1cm entre los perfiles y de 2 mm entre los puntos de observacion" en el plano final de isodinamas.

La longitud de los perfiles sera de 1.5 Kms, la magistral y los perfiles seran trazados instrumentalmente. En cada punto se situara una estaca en el cual se anotara el nume-

ro del perfil y el de la estacion.

3.- INSTRUMENTOS.

El instrumento que se utilizara para este levantamiento sera un magnetometro Askania Verke de fabricacion alemana.

Este aparato esta fundado en el principio de los magnetometros astatico-cuarzosos; habiendo demostrado en su uso en nuestro pais una gran efectividad para realizar los trabajos de campo, debido a su sencilla manipulacion y exactitud de las observaciones.

El valor de una division de la escala en este magnetometro se determina con ayuda de los anillos de Helmholtz, aplicando la siguiente formula:

$$\varepsilon = \frac{C I}{n_1 - n_2}$$

donde

ε - valor de una division de la escala en gammas

C - constante de los anillos, señalada en el certificado

I - fuerza de la corriente, en miliamperios

n_1 y n_2 - lecturas en la escala del magnetometro, para las distintas direcciones de la corriente.

4.- METODICA DE DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES MAGNETICAS DE LAS ROCAS.

Para efectuar la correcta interpretacion de los datos del levantamiento magnetico se necesitara realizar la determinacion de las propiedades magneticas de las rocas, pues no obstante ya haberse efectuado estos trabajos en los levantamientos anteriores, en la actualidad se trabajara en una nueva area, donde las rocas pueden tener propiedades magneticas dis-

tintos, esto esta justificado por el hecho de que en la zona estudiada anteriormente existen cambios en las propiedades magneticas en el mismo tipo de roca.

Para efectuar una determinacion bastante aproximada deben de ser tomadas no menos de 30-40 muestras de cada variedad de las rocas.

Las muestras deben ser lo mas representativas posible, sin que existan huellas de alteracion. El tamaño de las muestras, en general sera de 6x6x6 centimetros con un volumen de aproximadamente 200-300 cm³.

Los lugares de donde han sido tomadas las muestras deben ser señalados en el mapa. Las muestras se tomaran mientras se efectue el levantamiento en escala 1:10 000 del area a estudiar.

Los resultados de las determinaciones de las propiedades fisicas deben de ser señalados en forma de un catalogo de muestras y en base a este catalogo construir una tabla; ademas se debera de construir la curva de variacion de las propiedades fisicas de cada tipo de roca.

Las propiedades magneticas seran determinadas con un magnetometro M-2 el cual debe tener una apreciacion de 10 gammas por division de la escala.

Las mediciones de las propiedades se haran en el lugar donde radique la brigada; siendo la metodologia la siguiente: se hara una lectura del campo natural con el magnetometro en el lugar donde se van a efectuar las determinaciones, obteniendose asi el valor H_0 , acto seguido en la muestra de la roca se marcara un sistema de coordenadas rectangulares (x,y,z); luego se comenzaran las observaciones colocando la muestra debajo del aparato y midiendo la distancia entre el centro del aparato

(centro del sistema magnetico) y el centro de la muestra obteniendose así R , se efectua entonces la lectura correspondiente en el aparato la cual dara entonces N_1 ; el paso siguiente sera rotar la muestra 180° y efectuar de nuevo otra lectura la cual dara N_2 . Este procedimiento se hara tambien con los demas ejes restantes.

Las formular para el calculo de las propiedades fisicas sera el siguiente:

$$Y_{i(x,y,z)} = \frac{ER^3(N_1 + N_2 - 2N_0)}{4V} \cdot 10^{-5} \text{ CGS}$$

$$Y_{r(x,y,z)} = \frac{ER^3(N_1 - N_2)}{4V} \cdot 10^{-5} \text{ CGS}$$

$$Y_i = \frac{Y_{ix} + Y_{iy} + Y_{iz}}{3}$$

$$Y_r = \sqrt{Y_{rx}^2 + Y_{ry}^2 + Y_{rz}^2}$$

donde

Y_{ix}, Y_{iy}, Y_{iz} - valores de la magnetizacion inducida segun los ejes x,y,z respectivamente.

Y_{rx}, Y_{ry}, Y_{rz} - valores de la magnetizacion residual segun los ejes x,y,z.

E - valor de una division de la escala.

N_1, N_2 - valor de las lecturas segun un eje.

N_0 - valor del campo normal en el lugar donde se efectuan las observaciones

V - volumen de la muestra en centimetros cubicos (se determinara el volumen por el metodo del desplazamiento)

R - distancia entre el centro de la muestra y el centro del sistema magnetico del instrumento.

5.- METODICA DE LOS TRABAJOS.

Como se sabe en este metodo se medira la ΔZ_a entre dos puntos uno de ellos sera el punto de control (PC) donde se considera que el campo es igual al normal, se recomienda tomar para ese punto un punto fresco, alejado de perturbaciones magneticas y que no este muy alejado del area de los trabajos; ademas se debe de hacer el amarre con el PC de los trabajos anteriores para obtener estos trabajos al mismo nivel que los anteriores, el valor que se toma en el PC se designara por n_0 . Luego el aparato sera desplazado a lo largo de los perfiles siguiendo la ruta mas comoda para el operador, en cada punto se tomara una observacion o sea n , para ese punto luego al efectuar el calculo de ΔZ_a solo sera necesario aplicar la formula

$$\Delta Z_a = \mathcal{E}(n - n_0)$$

donde

$\mathcal{E}$ - valor de una division de la escala.

n - lectura en el punto.

n_0 - lectura en el PC.

La compensacion automatica por la temperatura en el magnetometro Askania es bastante grande por lo cual no creemos que sea necesario tomar la temperatura para efectuar la correccion, tambien debido a lo corto de los perfiles no creemos que sea necesario efectuar la correccion por el gradiente normal el cual no sobrepasa en esta zona a los 3 gammas por kilometro y el error de campo que queremos alcanzar llegara hasta ± 15 gammas.

La altura del aparato debe tratarse de que se mantenga

lo mas constante posible para asi evitar las variaciones verticales del campo, esto se tendra en cuenta sobre todo en los lugares de campo elevado.

Las lecturas en el PC deben de hacerse con un intervalo de 4 horas y tomar como valor medio del campo normal para ese dia, en el momento de hacer los calculos, el valor promedio de las lecturas en el punto de control.

6.- CONTROL Y APRECIACION DE LA EXACTITUD DE LAS OBSERVACIONES.

En el proceso de las observaciones de campo se debe de efectuar la repeticion cada 10 estacas. Esto servira para controlar las observaciones, asi como para calcular el error de campo de las observaciones.

Tambien se repetiran las medidas en todos aquellos lugares en los cuales se efectua un salto de la curva, por eso a la vez que se lleve la documentacion numerica se debe llevar la grafica, esto se realizara mucho mas meticulosamente en el caso de un solo punto anomalo, en cuyo caso se tomara ademas puntos intermedios para detallar la anomalia.

Ademas de estas observaciones de control se tomara perfiles de control cada 10 perfiles aproximadamente y en los que el caracter de la curva debe de coincidir entre la primera medida y la subsiguiente, en calidad de perfiles de control se eligiran aquellos mas caracteristicos y con las curvas menos regulares.

Las observaciones que se repiten se recomienda efectuarlas cada dia antes de terminar la jornada de trabajo o sea regresando cada dia al punto de donde se partio por la mañana ya con todos los datos sobre el area obtenidos.

La determinacion del error de campo se hara por el metodo de la curva de variacion, tomando como error de campo el 80% del area de la curva. Este error no debe sobrepasar a ± 15 gammas.

Solamente se consideraran anomalias probadas aquellas que sobrepasen en 5 veces el error de campo. Este error de campo puede ser un poco mayor en aquellos casos en que el campo sea muy elevado y complicado.

7.- TRABAJOS DE GABINETE.

Los trabajos de gabinete se deberan de comenzar desde el comienzo de los trabajos de campo, llevando al dia el calculo de los valores de ΔZ_a asi como construyendo los mapas y graficos auxiliares necesarios.

El documento principal que debe ser construido sera el mapa de las isodinamas ΔZ_a el cual se terminara en la ultima etapa de los trabajos y en el deben de estar revelados todos los datos de importancia topografica como son: coordenadas de la zona de los trabajos , magistral con los perfiles asi como las vias de comunicacion mas importantes. En el caso de que se ejecuten algunas labores mineras estas tambien deben ser situadas en el mapa.

Conjuntamente debe ser presentado el plano de graficos en la escala correspondiente, asi como las libretas de campo.

En el momento de construir los documentos graficos se tendra en cuenta todas las reglas que se refieren al error de campo de las observaciones, forma de construccion, etc. que sobre el particular existen.

Dentro del trabajo de gabinete es claro que se incluyen tambien la elaboracion del informe con la interpretacion de los mapas obtenidos.

C a p i t u l o VII

ORDEN DE APLICACION, VOLUMEN Y APARATOS NECESARIOS PARA LA REALIZACION DE LOS TRABAJOS

1.- TRABAJOS GEOFISICOS.

Como ya ha sido citado en los capitulos anteriores, el presente proyecto tiene por objetivo investigar en escala 1:10 000 a traves de metodos geofisicos (campo natural, magnetometria y polarizacion provocada) la parte norte de la region donde se encuentra situado el yacimiento El Cobre; en el area indicada en el primer capitulo.

Por supuesto que con anterioridad o conjuntamente con la realizacion de los trabajos geofisicos se realizaran una serie de trabajos topograficos y geologicos en el area dada.

La metodica en cuanto a los trabajos geofisicos se refiere, sera la de comenzar conjuntamente con los metodos del campo natural y magnetometrico levantando toda el area con ayuda de estos dos metodos y despues en las areas reveladas como perspectivas realizar el levantamiento en escala 1:2000 con ayuda de los metodos del campo natural y de la polarizacion provocada (PP); claro esta que estos se comenzaran a aplicar cuando ya se haya levantado una buena parte del area en escala 1:10 000.

El volumen de los trabajos geofisicos sera aproximadamente el dado en la tabla III.

No.	Tipo de trabajo	Area en Km ²	Red o paso en metros	Cant. de obs. con el contr.
1	Lev. magnetico en esc. 1:10 000	9	100 x 20	4950
2	Lev. campo natural en escala 1:10 000	9	100 x 20	4950
3	Lev. campo natural en escala 1:2 000	3	50 x 10	6600
4	Lev. Metodo de la PP escala 1:2 000	3	50 x 10	6600
5	Determinacion de propiedades magneticas	-	-----	230 (muest.)

Tabla III.- Volumen de los trabajos geofisicos.

Para la realizacion de los trabajos geofisicos planificados se necesitara aproximadamente del siguiente equipo:

	Cantidad
1.- Magnetometro Askania Verke	1
2.- Magnetometro M-1 (determinacion de propiedades magneticas).....	1
3.- Potenciometro E7 -1.....	2
4.- Estacion B7-59	1
5.- ElectrodoS porosos no polarizables	6 (juegos)
6.- Carretes de cable de 1000 metros	2
7.- ElectrodoS de alimentacion	100

Ademas de este equipo principal se necesitara gran cantidad de material de menor valor.

Teniendo en cuenta la considerable cantidad de calculos existentes asi como de interpretaciones necesarias para dar un informe sobre los datos geofisicos obtenidos se prevee para el periodo de gabinete un 60% del tiempo de los trabajos de campo.

2.- TRABAJOS TOPOGRAFICOS.-

Para efectuar las investigaciones geofisicas señaladas se necesita realizar una serie de trabajos topograficos el volumen de los cuales esta dado en la tabla IV.

No.	Tipo de trabajo	Km	paso	estacas
1	Trazado de magistrales	6	100	---
2	Trazado de perfiles en escala 1:10 000	90	20	4500
3	Trazado de perfiles detallados	60	10	6000
4	Poligonales de amarrre	20	--	---

Tabla IV.- Volumen de los trabajos topograficos

Ademas de los trabajos dados en la tabla IV sera necesario confeccionar gran numero de estacas para los puntos en los perfiles, fijar un monumento en el punto inicial de la magistral y otro en el final.

El punto inicial de la magistral tendra las coordenadas Lambert siguientes:

$$x = 157\ 300$$

$$y = 591\ 000$$

La distancia entre la magistral se tomara instrumentalmente y con cinta la cual debe de estar horizontalmente.

Todos los puntos de interes deben de ser fijados en el mapa en escala 1:10 000 que sobre el area se construya, dichos puntos seran arroyos, pozos de agua, caminos, carreteras, casas, etc. Tambien sera necesario una vez reveladas las anomalias fijar el centro de estas.

Las magistrales se abriran con una trocha de 1.5 metros de ancho y los perfiles a 1 metro.

La desviacion de los perfiles no debe ser mayor de 10-15 metros en 1 Km de perfil.

En los perfiles cada 20 metros se pondran estacas debidamente numeradas en el caso de la escala 1:10 000 y cada 10 metros en el caso de estarse trabajando con la escala detallada la forma de numeracion sera por ejemplo P-60/-5 o sea perfil 60 estaca -5.

La poligonal de amarre de la magistral sera de una precision de 1:1000 y para el trazado de las poligonales secundarias de hasta 1:500.

El equipo necesario para la ejecucion de los trabajos topograficos sera:

	Cantidad
1.- Transito Fenell	1
2.- Jalones	4
3.- Cintas	2
4.- Miras	1
5.- Estacas.....	14000 (aprox)

Ademas del equipo enumerado se necesitara otro de menor valor como son: machetes, cemento, señales, etc.

Debe de tenerse en cuenta tambien dentro del equipo necesario el transporte el que podra ser resuelto con dos jeep tipo GAZ.

Uno de ellos trabajara con las comisiones de geologia y de topografia y el otro sera utilizado por la comision de los trabajos geofisicos.

C a p i t u l o VIII

ORGANIZACION, DATOS TECNICOS Y PRODUCTIVOS

1.- DATOS GENERALES SOBRE ORGANIZACION.

La base de los trabajos proyectados residira en Santiago de Cuba en la Universidad de Oriente; no obstante existira una brigada en el pueblo de El Cobre donde se resolveran los problemas de alimentacion y vivienda del personal durante el periodo de los trabajos de campo.

El trabajo se realizara en un turno por dia y durante los primeros 24 dias del mes continuamente, quedando los 6 restantes libres.

Los trabajos de gabinete se efectuarian en la Universidad y en la brigada.

C o m p o s i c i o n y e s t r u c t u r a d e
l a b r i g a d a. La brigada estara formada principalmente por tres comisiones que seran: geologia, topografia y geofisica.

La comision de geologia sera la encargada de realizar el levantamiento geologico en escala 1:10 000 asi como en las areas que se detallan en escala 1:2000, tambien sera la encargada de tomar las muestras para efectuar la determinacion de las propiedades fisicas de las rocas; asi como tambien auxiliar al geofisico en la interpretacion de los datos obtenidos.

Ella estara constituida de la siguiente forma:

	Cantidad
1.- Geologo	1
2.- Auxiliar de geologo.....	1
3.- Obreros.....	2 (no siempre)

La comision de topografia sera la encargada de ejecutar todos los trabajos topograficos que se le asignen. Ella estara formada por:

	Cantidad
1.- Topografos.....	1
2.- Auxiliar de topografo.....	1
3.- Obreros.....	4

La comision de geofisica sera la mayor y tendra que realizar los trabajos geofisicos planteados en el presente proyecto. Ella constara de los siguientes miembros:

	Cantidad
1.- Ingeniero geofisico	1
2.- Tecnico operador.....	4
3.- Tecnico calculista.....	2
4.- Tecnico Dibujante	1
5.- Obreros.....	8

Ademas del personal tecnico citado la brigada debe constar de:

	Cantidad
1.- Jefe de la brigada (administrador)...	1
2.- Jefe de almacen.....	1
3.- Dibujante	1
4.- Choferes.....	2

5.- Cocinero1

6.- Obreros.....2

El jefe tecnico de la brigada lo sera el geologo y el jefe de cada comision individual lo sera el que aparece en el numero 1 en la anterior descripcion.

2.- TRABAJOS GEOLOGICOS.

El area de los futuros trabajos pertenece a la 3^{era} categoria de complejidad geologica. El grado de afloramiento de la region es bueno. El grado de accidentacion es bastante. El levantamiento se ejecutara en escala 1:10 000 siendo la norma de aproximadamente 0.4 Km² por comision-turno; luego:

$$9 \times 2.5 = 22.5 \text{ comision-turnos}$$

Para el levantamiento detallado o sea en escala 1:2000 la productividad sera de aproximadamente 0.1 Km² por comision-turno; el area a levantar en esta escala se calcula en 3 Km². Luego:

$$3 \times 10 = 30.0 \text{ comision-turnos}$$

La toma de muestras se hara directamente en los afloramientos mientras se efectue el levantamiento geologico por lo que al terminar el primer mes de trabajo deben de haber sido ya recolectadas todas las muestras.

3.- TRABAJOS GEOFISICOS.

A.- MAGNETOMETRIA.

El tipo de levantamiento es de area en la region ya mencionada. La red de levantamiento es de 100x20 metros. La categoria de la dificultad es la IV. El volumen de los traba-

jos es de 9 Km^2 . El numero de comision-turno para la realizacion de los trabajos sera:

$$4.36 \times 9 = 39.2 \text{ comision-turnos}$$

El numero de comision-turno para los trabajos de gabinete sera:

$$39.2 \times 0.6 = 21.7 \text{ comision-turnos}$$

Personal de trabajo

a) Trabajos de campo

Ingenieros y Tecnicos	Cantidad	
1.- Geofisico (interpretador).....	19.6	turnos
2.- Tecnico (operador).....	39.2	"
3.- Calculista.....	19.6	"
4.- Dibujante.....	9.8	"
Total	88.2	"

Obreros

1.- Obreros de III.....	39.2	turnos
2.- Obreros de II.....	39.2	"
Total	78.4	"

b) Trabajos de Gabinete

Ingenieros y tecnicos	
1.- Geofisico.....	10.8 turnos
2.- Operador.....	21.7 "
3.- Calculista.....	10.8 "
4.- Dibujante	5.4 "
Total	48.7 "

B.- CAMPO ELECTRICO NATURAL.

Observaciones por el metodo del potencial. El tipo de levantamiento es de area. La categoria del lugar es IV.

a) Levantamiento de busqueda en un area de 9 Km^2 , con

una red de 100 x 20 metros. El numero de comision-turno sera de:

$$4.5 \times 9 = 40.5 \text{ comision-turnos}$$

El numero de comision-turno para la realizacion de los trabajos de gabinete sera:

$$40.5 \times 0.6 = 24.3 \text{ comision-turnos}$$

b) Levantamiento detallado con una red de 50 x 10 metros. El volumen de los trabajos es de 3 Km². El numero de comision-turnos sera de:

$$15.4 \times 3 = 46.2 \text{ comision-turnos}$$

El numero de comision-turno para los trabajos de gabinete debe ser de:

$$46.2 \times 0.6 = 27.7 \text{ comision-turnos.}$$

En total para el campo natural se necesita:

- 1.- Trabajos de campo86.7 comision-turnos
- 2.- Trabajos de gabinete.....52.0 " "

Personal de trabajo

a) Trabajos de Campo.

Ingenieros y tecnicos

- 1.- Geofisico (interpretador).....43.4 turnos
- 2.- Geologo.....21.7 "
- 3.- Tecnico operador.....86.7 "
- 4.- Tecnico calculista.....86.7 "
- 5.- Dibujante.....21.7 "
- Total 260.2 "

Obreros

- 1.- Obrero de IV.....86.7 turnos

2.- Obreros de III	<u>520.2</u>	turnos
Total	606.9	"

b) Trabajos de gabinete

1.- Geofisico (interpretador).....	26.0	turnos
2.- Geologo	13.0	"
3.- Tecnico operador.....	52.0	"
4.- Calculista	<u>52.0</u>	"
Total	143.0	"

C.- METODO DE LA POLARIZACION PROVOCADA (PP).

Las observaciones se efectuarian por el metodo de los gradientes. El tipo de levantamiento es de area. La categoria del lugar es IV. El levantamiento sera detallado con una red de 50 x 10 metros. El numero de comision-turno para un volumen de trabajo planificado en 3 Km^2 sera de:

$$25 \times 3 = 75 \text{ comision-turnos}$$

El numero de comision-turnos para los trabajos de oficina sera de:

$$75 \times 0.6 = 45 \text{ comision-turnos.}$$

Personal de trabajo.

a) Trabajos de campo.

Ingenieros y tecnicos

1.- Geofisico (interpretador).....	37.5	turnos
2.- Geologo.....	16.7	"
3.- Tecnico operador	150.0	"
4.- Calculista.....	75.0	"

5.- Dibujante 16.7 turnos

Total 295.9 "

Obreros

1.- Obrero de IV..... 75.0 turnos

2.- Obreros de III..... 450.0 "

Total 525.0 "

4.- TRABAJOS TOPOGRAFICOS.

a) Ubicacion de las magistrales. Complejo total de trabajo. Piquetas cada 100 metros. Categoria de dificultad es V. El volumen de los trabajos es 6 Km. El numero de dias sera:

$$6 \times 0.76 = 4.56 \text{ comision-dias}$$

b) Ubicacion de perfiles. Complejo total de trabajo. Estacas cada 20 metros. La categoria de dificultad es V. El volumen de los trabajos es de 90 Km. El numero de comision-dias sera de:

$$90 \times 0.7 = 63.0 \text{ comision-dias}$$

c) Ubicacion de perfiles estacas cada 10 metros. Volumen de los trabajos 60 Km. El numero de comision-dias sera de:

$$60 \times 1 = 60 \text{ comision -dias}$$

d) Amarres topograficos con exactitud de 1:500. Categoria de dificultad V. El volumen de los trabajos 20 Km. El numero de comision-dias sera de:

$$20 \times 0.57 = 11.4 \text{ comision-dias}$$

e) Dibujo del mapa a escala 1:10 000. Categoria de dificultad III. Volumen de los trabajos 9 Km². El numero de brigada-dia sera de:

$$9 \div 0.93 = 9.6 \text{ comision-dias}$$

f) Dibujo de los planos en escala 1:2000. La categoría de la dificultad es III. El volumen de los trabajos es de 3 Km². El número de comisión-días es:

$$14 \times 3 = 51 \text{ días.}$$

El personal para los trabajos de topografía están dados al comienzo del capítulo.

Aproximadamente la ejecución de los trabajos proyectados tomara un tiempo de 4-5 meses de trabajos de campo y de hasta 3 de gabinete.

A la terminación del periodo de los trabajos de gabinete debe ser presentado el informe final de acuerdo con las normas establecidas.

L I S T A D E A N E X O S

No. del Anexo

- 1.- Mapa general de la region de los
trabajos..... 2
- 2.- Mapa geologico de la region en es-
cala 1:50 000..... 1
- 3.- Mapa geologico del yacimiento en es-
cala 1:10 000..... 3
- 4.- Mapa magnetometrico en escala 1:10 000.. 4
- 5.- Mapa del campo natural en escala
1:10 000..... 5
- 6.- Mapa del area donde se proyectan los
trabajos..... 6

B i b l i o g r a f í a

- /1/.- Bargallo Modesto. Minería y Metalurgia en la América española durante la época colonial. México; 1955.
- /2/.- Bermúdez P. J. Las formaciones geológicas de Cuba. La Habana; 1963.
- /3/.- Bogdanov Y. V., Bogdanova V. N., Miralles. Informe sobre los resultados de los trabajos de levantamiento y búsqueda en la zona del yacimiento de "El Cobre". Archivos del ICRM (Habana) 1963.
- /4/.- Calvache A.. Historia y desarrollo de la Minería en Cuba. La Habana 1944.
- /5/.- Furrázola y otros. Geología de Cuba. La Habana 1964.
- /6/.- Grechanik T. Proyecto del levantamiento geológico en escala 1:50 000 en la parte sur de la provincia de Oriente. Santiago de Cuba 1967 (Archivos ICRM)
- /7/.- Heiland C. A. Geophysical Exploration. New York 1951.
- /8/.- Laverov N. P. y Cabrera R.. Estructura Geológica y algunas cuestiones relativas a la génesis del yacimiento "El Cobre" (Oriente). Algunas peculiaridades de la geología de los alrededores del yacimiento "El Cobre" relacionadas con su génesis.
- /9/.- Lewis G. E., Straczek J.A. Geology of South-Central Oriente, Cuba; U. S. Geol. Surv. Bull. No. 975-D, 1955

- /10/.- Ogilvi A. A. Geofizicheskie metody. Moscu 1962.
- /11/.- Puscharovsky Y. M. y otros. Mapa tectónico de Cuba;
Academia de Ciencias. La Habana 1967.
- /12/.- Sokolov K. P. Metodos geofisicos de la exploracion.
Santiago de Cuba, 1967.
- /13/.- Stepanov B. Proyecto para trabajos geofisicos en el
yacimiento "El Cobre" provincia de Oriente. La Habana,
1966. (Archivos del ICRM).

--

I n d i c e

	Pag.
Resumen.....	2
Introduccion.....	3
Cap. I.- DATOS GENERALES SOBRE EL YACIMIENTO Y LA REGION DE EL COBRE.....	5
1.- Situacion geografico-administrativa.....	-
2.- Datos sobre el terreno y la red fluvial.....	-
3.- Clima y vegetacion.....	7
4.- Datos economicos.....	8
Cap. II.- GRADO DE CONOCIMIENTO GEOLOGO-GEOFISICO DE LA REGION DEL COBRE.....	9
Cap. III.- ESTRUCTURA GEOLOGICA DE LA REGION.....	16
1.- Situacion geologica de los alrededores y del yacimiento "El Cobre".....	--
2.- Estratigrafia de la region.....	17
3.- Plegamientos y fallas asi como tectonica en gene- ral.....	28
4.- Rocas intrusivas.....	33
Cap. IV.- CARACTERISTICAS GENERALES E HISTORIA DEL YACIMIEN TO "EL COBRE".....	42
1.- Area Mina Grande.....	46
2.- Area Gitanilla.....	58
3.- Area Ermitaño.....	59
4.- Area Alta.....	60
5.- Origen geologico del yacimiento.....	64
6.- Factores geologicos favorables y criterios para la prospeccion.....	66
Cap. V.- CARACTERISTICAS GEOFISICAS DEL YACIMIENTO "EL CO- BRE".....	68
1.- Trabajos en escala 1:50 000.....	69
2.- Levantamientos en escala 1:10 000.....	71
3.- Trabajos en escala 1:2000.....	77
4.- Conclusiones.....	83
Cap. VI.- DESCRIPCION DE LOS METODOS.....	86
I.- Campo electrico natural.....	--
1.- Campos electricos en la tierra.....	--
2.- Ejecucion de los trabajos.....	93

Pag.

a.- Tareas, escalas y red.....	93
b.- Instrumentos.....	94
c.- Metodica de los trabajos.....	95
d.- Control y apreciacion de la exactitud de las observaciones.....	98
e.- Trabajos de gabinete.....	99
II.- Metodo de la polarizacion provocada (PP).....	101
1.- Principios generales.....	---
2.- Metodica de los trabajos de campo.....	104
3.- Ejecucion de los trabajos de campo.....	106
4.- Control y exactitud de las observaciones.....	108
5.- Trabajos preparatorios y auxiliares.....	110
6.- Documentacion y elaboracion de campo de los materiales.....	110
7.- Elaboracion de gabinete de los materiales y su interpretacion.....	112
III.- Magnetometria.....	113
1.- Campo magnetico.....	---
2.- Tareas, escalas y red.....	114
3.- Instrumentos.....	113
4.- Metodica de determinacion de las propiedades magneticas de las rocas.....	115
5.- Metodica de los trabajos.....	118
6.- Control y apreciacion de la exactitud de las observaciones.....	119
7.- Trabajos de gabinete.....	120
Cap. VII.- ORDEN DE APLICACION, VOLUMEN DE LOS TRABAJOS Y APARATOS NECESARIOS PARA LA REALIZACION DE LOS TRABAJOS.....	121
1.- Trabajos geofisicos.....	---
2.- Trabajos topograficos.....	123
Cap. VIII.- ORGANIZACION. DATOS TECNICOS Y PRODUCTIVOS.....	126
1.- Datos generales sobre organizacion.....	---
2.- Trabajos Geologicos.....	128
3.- Trabajos Geofisicos.....	---
4.- Trabajos Topograficos.....	132
Lista de anexos.....	133a
Bibliografia.....	135