

CRITERIOS USADOS EN LA SELECCION DE LOS METODOS GEOFISICOS DE PROSPECCION

LUIS SILVA R. *Instituto de Investigaciones Geológicas*

RESUMEN

Este artículo pretende realizar una discusión de los diversos criterios que se deben considerar durante la planificación, desarrollo e interpretación de un estudio geofísico de prospección.

El actual estado de avance en las técnicas e instrumentos geofísicos, hace cada día más necesario una mayor especialización del geofísico, dejando la parte geológica del problema a los geólogos propiamente tales. Resulta por lo tanto, indispensable plantear la necesidad de mayor contacto entre estas disciplinas, de modo que los geólogos u otros profesionales encargados de recomendar el uso de los métodos geofísicos conozcan los conceptos más generales y globales para un óptimo aprovechamiento de las técnicas de prospección geofísica y los geofísicos por su parte puedan dirigir sus esfuerzos a la obtención de la información en forma correcta, al diseño de técnicas e instrumentos y a la interpretación de los datos con sentido geológico.

Este artículo tiene fundamentalmente la intención de colaborar con la primera de las tareas expuestas más arriba, Con este objeto se presenta una discusión simplificada de los fenómenos físicos que importan a la geofísica y que ocurren comúnmente en el ambiente geológico-minero, tema que constituye la primera parte de esta publicación y que se ha titulado Clasificación Geofísica de los Depósitos Minerales.

Se ha considerado, que desde el punto de vista del geólogo, la dirección más útil que puede dársele a una publicación de esta naturaleza, será la de ilustrar sobre cuando y como solicitar la aplicación de algún método geofísico lo que valorizará las recomendaciones y sugerencias de sus informes. Para cumplir con este propósito, se hace necesario, además de un conocimiento claro del problema geológico que se requiere resolver, extrema claridad de los fundamentos del método geofísico que se propone y en gran medida anticipación a los resultados que se obtendrán. Una forma relativamente simple y provechosa de plantear esta última materia, se encuentra condensada en la segunda parte, la cual ha sido titulada Evaluación de los Métodos Geofísicos de Prospección. Se pretende establecer, de este modo, varios criterios de análisis y ventajas y desventajas de los métodos, de manera de lograr una noción equilibrada de la utilidad de la Geofísica de Prospección.

Las bases para la discusión de los criterios usados al considerar la evaluación de un determinado sistema, son fundamentalmente: conocimiento teórico y experiencia. Ambas consideraciones implican una gran cantidad de material imposible de condensar en tan poco espacio y salen fuera del propósito de este artículo. De todas maneras, se ha considerado de importancia presentar ciertos casos prácticos, que de un modo u otro dejarán experiencia al lector, cuando éste hace

la comparación entre las observaciones geofísicas con los resultados obtenidos por los estudios directos tales como sondeos u otros medios de exploración. Constituye esta última parte del artículo sólo una reducida colección de ejemplos. No se trata de presentar solamente los casos con resultados positivos, los cuales podrían mostrar una imagen deformada de la utilidad de la geofísica de prospección, sino que principalmente, éstos fueron elegidos por ser casos relativamente bien probados y por constituir una variada aplicación de los métodos geofísicos lo que hace mucho más interesante la comparación, permitiendo reafirmar los conceptos sobre Clasificación Geofísica de los depósitos minerales y Evaluación de los Métodos Geofísicos de Prospección discutidos en los capítulos precedentes.

INTRODUCCION

La geofísica aplicada a la prospección de minerales ha tenido en los últimos años, un significativo avance. El futuro de la Geofísica Minera y en general en la aplicación a las ciencias de la tierra y otros planetas es bastante promisorio debido a la creciente necesidad de materiales básicos necesarios para el desarrollo de la humanidad.

En nuestro país y en general en América Latina la aplicación de la geofísica se ha mantenido al margen del avance científico y tecnológico de países tales como Canadá, Estados Unidos y otros. Es probable que esta situación no sea, en nuestro caso, alarmante por el momento, puesto que poseemos significantes fuentes de producción de minerales como asimismo grandes extensiones de terreno donde aún se pueden seguir aplicando los métodos convencionales de prospección. No obstante estas ventajas, debemos preocuparnos por el natural agotamiento de las fuentes de producción y comenzar oportunamente el estudio de nuevos yacimientos, hasta ahora desconocidos total o parcialmente. Igual atención debe dársele al hecho que las áreas que permiten exploración con los métodos convencionales se están continuamente reduciendo, y por lo tanto el geólogo se ve restringido a analizar la posibilidad de encontrar fuentes minerales ocultas bajo la superficie del terreno. Estas dificultades naturales exigen de nuevas técnicas, rápidas, simples, seguras y económicas para la búsqueda de minerales en las áreas cubiertas por sedimentos en el desierto, en la alta cordillera y en las zonas boscosas, ne-

vadas y submarinas, a lo largo de todo el territorio nacional.

Tomando en cuenta estas proyecciones y considerando la gran importancia que tienen para la economía del país, el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) ha comprendido esta necesidad, creando la división Geofísica que en la actualidad cuenta con personal especializado, equipos e instrumentos modernos. Tanto la especialización como los equipos, que continuamente se están adquiriendo, han sido siempre traídos desde los centros más avanzados en el campo de la exploración geofísica minera.

La aplicación de estas técnicas modernas ha llegado en algunos casos a tal sofisticación, que en ciertas etapas del estudio se hace completa abstracción de las condiciones geológicas del problema. Esta situación podría ser perjudicial en lo que concierne a la utilidad de los métodos geofísicos, por lo que resulta necesario una mejor comunicación entre geólogos y geofísicos. La geofísica, de esta manera, rara vez entrega resultados definitivos a un problema determinado; existe casi siempre un gran número de incógnitas para un reducido número de ecuaciones, lo que nos obliga a aceptar que las interpretaciones de los datos geofísicos serán acertadas en la medida que las incógnitas restantes han sido juiciosamente seleccionadas. El concepto de la relativamente vaga resolución que entrega la geofísica, está íntimamente ligado al tiempo y al costo permitido para obtener tales informaciones. Si las informaciones aquí obtenidas son vagas, pero logradas en tiempos cortos y con costos relativamente más bajos que los conseguidos por los métodos convencionales, la aplicación de estas técnicas modernas queda ampliamente justificada. En todo caso, debemos siempre considerar, que los métodos convencionales de exploración, los geológicos, los geoquímicos y los geofísicos, no deben aplicarse en forma individual, a modo de competencia entre sí, hacer esto indica una falta de conocimiento global del problema de exploración de yacimientos minerales.

La divulgación de estos conceptos, es decir, la discusión de las condiciones de aplicabilidad de los métodos geofísicos y la presentación de algunos resultados obtenidos a lo largo de varios años de experiencia, son sólo un pequeño esfuerzo para un mejor entendimiento entre geólogos, ingenieros e industriales mineros dedicados a la exploración de minerales. No se pretende, de este modo, entregar un tratado de geofísica de prospección, el que naturalmente requie-

rirá de otras ciencias imposibles de condensar en tan poco espacio, pero que serían necesarias para una mejor comprensión de varios de los conceptos y principios vertidos a lo largo de la presente discusión.

Sin duda, el incremento en las tareas de prospección geológica y minera, trae inevitablemente como consecuencia la necesidad del aumento y mejoramiento de nuevas técnicas geofísicas, esto naturalmente, implica nuevos equipos y mayor número de especialistas dedicados a estos servicios. La labor que se propone, debe realizarse en forma urgente ya que la distancia tecnológica a que nos encontramos de otros países, incluso de nuestros vecinos, es demasiado grande como para ser reducida en forma fácil y rápida.

CLASIFICACION GEOFISICA DE LOS DEPOSITOS MINERALES

Para comprender en forma global la aplicabilidad de la geofísica minera, debemos pensar en las diferentes clases de yacimientos como diferentes "fuentes" desde las cuales cierta información puede ser leída en la superficie de la tierra. Estas fuentes no están siempre directamente relacionadas con depósitos minerales económicos. Este concepto es el más importante y a la vez el más desfavorable en la interpretación de datos geofísicos. Es en este instante cuando el geofísico quisiera ser capaz de aglomerar toda la información concerniente a la física, la matemática y la geología del problema, tal como si este especialista fuese geofísico y geólogo. Por supuesto que esta forma de atacar el problema resulta una tarea muy difícil para un solo hombre y por esta razón debemos estar mejor preparados para un entendimiento entre los profesionales encargados del importante rol de la exploración de minerales.

De acuerdo con lo anterior se puede intentar una clasificación de los depósitos minerales que aunque no estrictamente geológica resultará muy útil en lo que concierne al aspecto de campos físicos, cuyos efectos se pueden observar a considerable distancia de tal fuente, ver Tabla 1 y Tabla 2:

Sulfuros Macizos

Sulfuros Diseminados

Depósitos de Hierro

CLASIFICACION GEOFISICA DE LOS DEPOSITOS MINERALES

TABLA 1.

Sulfuros Macizos	Sulfuros Diseminados	Hierro
Yacimientos que contienen por lo menos 50 o/o de minerales tales como calcopirita, pirita, pirrotita, galena, magnetita etc.	Yacimientos con - 20 o/o de contenido de sulfuros. Estos pueden estar diseminados, formando pecas, rellenando grietas o reemplazando otros minerales.	Yacimientos de magnetita ígneos y sedimentarios. Yacimientos de hematita de reemplazo y sedimentarios.
PROPIEDADES FISICAS		
Alta densidad alrededor de 3,8. Alta conducción eléctrica 10^2 a 10^4 mho/m. Ocasional susceptibilidad magnética.	Densidad similar a la roca encajadora. Regular conducción eléctrica, generalmente existe polarización inducida. Bajo contenido de magnetita.	Alta densidad. Buena conducción eléctrica Alta susceptibilidad magnética.
METODOS USADOS PARA LA DETECCION		
Gravimetría (ocasional) Métodos eléctricos } Polarización espontánea Resistividad Electromagnético Polarización inducida Magnéticos (ocasional)	Gravimetría (muy raro) Métodos eléctricos } Resistividad Polarización inducida. Magnetometría (ocasional)	Gravimetría Métodos eléctricos } Resistividad. Electromagnéticos. Magnetometría

Sulfuros Macizos

Una introducción a la discusión de los métodos geofísicos aplicables a la búsqueda de sulfuros macizos, requerirá una definición de tales depósitos. Lindgren clasifica estos cuerpos minerales como emanaciones de una intrusión ígnea, de modo que podría ser resultado de metamorfismo o de relleno de grietas, por lo que resulta una mineralización típicamente epigenética. Sin embargo, recientes evidencias parecen sugerir que varios yacimientos de sulfuros macizos se han originado, a su vez, por metamorfismo de yacimientos singenéticos.

Sería más prudente que los geofísicos evitaren el conflicto epigenético-singenético. Contrariamente es más lógico basar la definición simplemente en los atributos físicos del tipo de yacimiento referido. Se aceptará entonces, para definir un sulfuro macizo, una cantidad de por lo menos 50 por ciento de minerales macizos, tales como: pirita, pirrotita, calcopirita, gale-

na, magnetita, etc. (fig. 1). La magnetita y la hematita suelen ser minerales asociados a la mayoría de los sulfuros o viceversa.

Propiedades Físicas de los Sulfuros Macizos

De las propiedades físicas de los minerales individuales arriba mencionados, se podría predecir las siguientes características para yacimientos de sulfuros macizos:

Densidad. La densidad mínima que se puede esperar es de alrededor de 3,8, lo que da un contraste con la roca encajadora de aproximadamente 1,6.

Susceptibilidad Magnética. En la combinación de minerales que incluyen magnetita y/o pirrotita, la susceptibilidad magnética es típicamente más alta que en la roca encajadora.

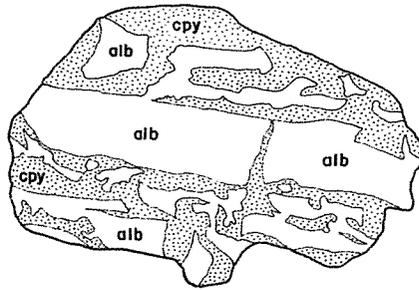
Propiedades Eléctricas. La combinación de minerales que excluye esfalerita y hematita muestra normalmente conductividad eléctrica que puede alcanzar hasta valores del orden de 10^4 mho/m. Esta propie-

TABLA 2

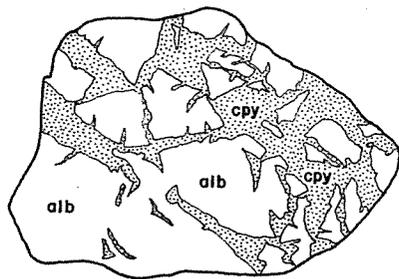
Propiedades Físicas de las Principales Rocas y Minerales comunes en Prospección Geofísica (J.J. Jakosky, 1961)

<u>Densidad de las rocas y minerales comunes en prospección minera</u>		
Diorita	2,84	
Gabro	2,98	
Granito	2,67	
Andesitas	2,60	
Arena	1,8	
Gravas	2,2	
Hematita	5,10	
Magnetita	5,10	
Ilmenita	4,65	
Apatita	3,25	
Galena	7,5	
Arsenopirita	6,1	
Bornita	5,15	
Pirita	5,05	
Azufre	2,1	
<u>Susceptibilidad magnética en rocas y minerales comunes en prospección minera</u>		
Gabro	0,00044 - 0,0041 Unidades c.g.s.	
Granito	0,00003 - 0,0027	
Magnetita	0,04 - 2,0	
Ilmenita	0,03 - 0,14	
Pirrotita	0,007 - 0,025	
Specularita	0,003 - 0,004	
Hematita	0,00004 - 0,0001	
<u>Resistividad de rocas y minerales comunes en prospección minera</u>		
Basalto	2×10^6	ohm - cm
Diorita	5×10^6	
Gabro	$1 \times 10^4 - 1,4 \times 10^6$	
Granito	$3 \times 10^4 - 10^6$	
Aluvio	$2,5 \times 10^3 - 1,5 \times 10^3$	
Sedimentos glacial	$8 \times 10^{-2} - 9,5 \times 10^5$	
Calcosina	$0,1 - 6 \times 10^1$	
Calcopirita Hematita	5,5	
Calcopirita - Esfalerita	1	
Calcopirita - pirrotita	0,1	
Cuprita	3×10^4	
Grafito	$8 \times 10^{-4} - 6$	
Magnetita	$0,6 - 5 \times 10^3$	
Pirita	$5 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-4}$	

cpy = calcopirita
alb = albitófirio

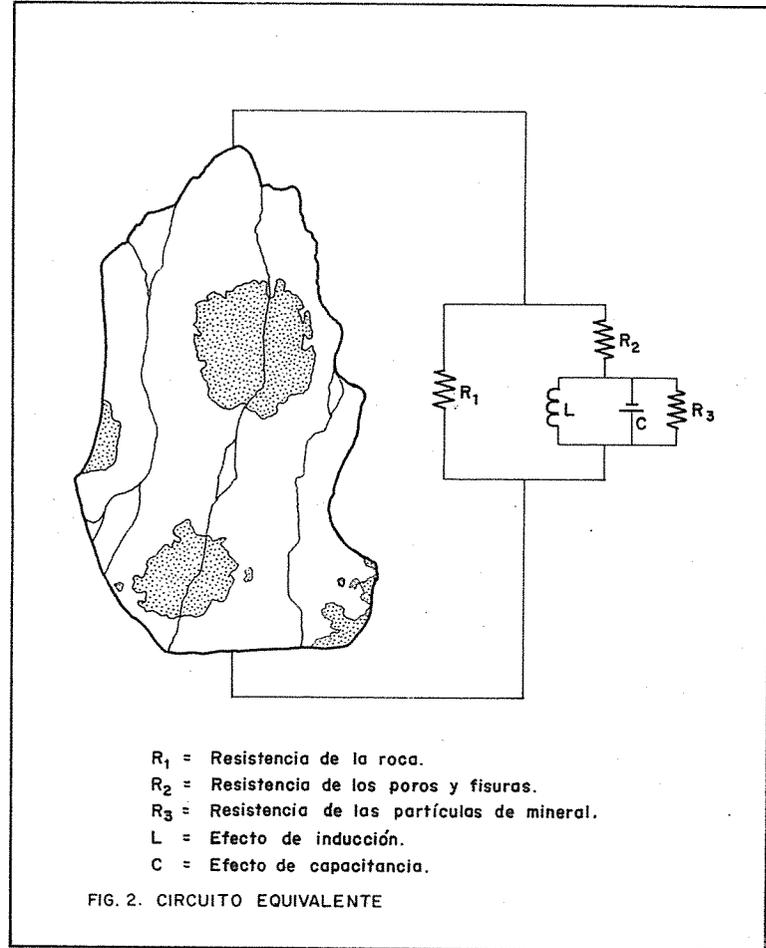


Secciones pulidas



Muestras de brecha albitofrica fina cementada con calcopirita y cantidades secundarias de pirita, hematita y magnetita. (Según Fco. Ortiz, 1962)

FIG.1. EJEMPLO DE SULFURO MACIZO



dad individual de los minerales de conducir electricidad se puede, en casos favorables, hacer extensiva a todo un yacimiento de sulfuros macizos.

Es posible demostrar que para el caso de sulfuros macizos existen dentro del yacimiento hilos conductores de apreciable longitud y de sinuoso recorrido, produciéndose de esta manera, importantes efectos de inducción, constituyendo así otra propiedad eléctrica de gran aplicación en geofísica.

Dadas estas consideraciones, el geofísico tiende a definir como yacimiento de sulfuro macizo a un cuerpo muy denso, típicamente conductor de la electricidad y frecuentemente magnético. Es importante hacer notar que esta definición no tiene sentido reversible: un cuerpo mineral denso, conductor y magnético no es necesariamente un yacimiento de sulfuro macizo.

Sulfuros diseminados

La gran mayoría de los yacimientos económicos en producción están constituidos por sulfuros diseminados. Los minerales típicos que se incluyen en esta clase son: calcopirita, calcosina, molibdenita, bornita y pirita. Estos depósitos son grandes en tamaño aunque generalmente de baja ley.

El término sulfuro diseminado ha sido definido (AGI, Glossary; 1957) como sulfuro distribuido en forma de pecas y vetillas por toda la roca constituyendo menos de un 20 por ciento del volumen total. En esta definición no hay relación al origen y naturaleza del sulfuro o roca encajadora. También se deduce que habrá un límite inferior en contenido de sulfuros que vendrá a determinar la importancia económica del yacimiento.

Propiedades Físicas de los Sulfuros Diseminados

Al referirse al contenido de sulfuros es recomendable distinguir entre porcentaje por peso y porcentaje por volumen. El primero es preferido cuando se trata de problemas económicos, pero el segundo es el más usado cuando se trata de la definición de propiedades físicas de una roca. En el caso de mineralización de sulfuros el porcentaje por volumen es menor que el porcentaje por peso para un mismo contenido de sulfuros.

Densidad. Supongamos una roca huésped de densidad δ y una porción de la cual está mineralizada con partículas de densidad δ_m . El contraste de densidad entre la roca mineralizada y la no mineralizada es $\Delta\delta = V_m (\delta_m - \delta)$ donde V_m es el volumen del mi-

neral en proporción al de la roca matriz. Para un volumen que contenga 20 por ciento de sulfuros de densidad 5,0 en una matriz de densidad 2,6 resultará un contraste de densidad 0,5.

Susceptibilidad Magnética. Sulfuros diseminados suelen encontrarse en ciertos tipos de rocas ígneas. El contenido magnético en estas rocas puede, en algunos casos, ser propiedad física importante en este tipo de depósitos. Por otra parte rocas alteradas presentan escaso contenido de magnetita existiendo un contraste negativo con la roca no alterada, lo que constituye una propiedad física muy socorrida para la detección de rocas alteradas.

Propiedades Eléctricas. Las características físicas más significativas de los depósitos de sulfuros diseminados son las diversas propiedades eléctricas. Los minerales de lustre metálico son buenos conductores de la electricidad, poseen conducción electrónica, en apropiadas condiciones sufren oxidación y desarrollan polarización inducida. Contrariamente al caso de los sulfuros macizos, la diseminación de sulfuros implica falta de continuidad entre partículas, por lo que la conducción global que muestra un depósito de sulfuros diseminados es mucho menor que la conducción del sulfuro individualmente.

Depósitos de Hierro

El último grupo dentro de la clasificación de yacimientos minerales es el de los yacimientos de hierro. En este tipo de yacimiento existe una gran variedad y desacuerdo entre los geólogos. Un mismo yacimiento suele haberse formado por superposición de varios procesos.

La clasificación que más se acomoda a geofísica sería:

Yacimientos asociados con rocas ígneas.

Yacimientos sedimentarios.

Yacimientos provenientes de lixiviación de depósitos de sulfuros.

Propiedades Físicas de los Depósitos de Hierro

Densidad. La densidad de los minerales de hierro es generalmente mucho mayor que la densidad de la roca huésped. Puede esperarse obtener un contraste de densidad sobre 2,0.

Susceptibilidad Magnética. La susceptibilidad magnética es una propiedad única de minerales como magnetita y pirrotita. Contrariamente a lo que se supone, es la propiedad más caótica que se usa en geofísica. Sin embargo, ésta se ha empleado en forma exitosa en muchos casos de prospección de hierro.

Propiedades Eléctricas. Magnetita pura y hematita son

buenos conductores. Muestran resistividades del orden de 0,1 ohm/m. En general, los contrastes de resistividades con la roca encajadora son suficientes para la aplicación de varios de los métodos eléctricos.

BREVE DISCUSION SOBRE LAS PROPIEDADES ELECTRICAS USADAS EN LA PROSPECCION GEOFISICA

Como se ha visto a través de la clasificación geofísica de los depósitos minerales, las propiedades eléctricas resultan las más importantes y a la vez las más variadas.

Esta situación ha originado una gran cantidad de métodos eléctricos que en la actualidad se encuentran en pleno proceso de investigación, tanto en su diseño, como en su modo más básico de aplicación e interpretación de los resultados.

Para comprender las propiedades eléctricas relacionadas con las rocas comunes y mineralizadas se recomendará considerar el siguiente análisis comparativo:

Supongamos un trozo de mineral, como el representado por la figura 2, en el cual aparecen fundamentalmente dos tipos de materiales, uno predominante o matriz, constituido por roca de mala conducción eléctrica y otro escaso o inclusiones, que presentan buena conducción eléctrica. Notemos además que esta muestra de roca posee varias fisuras, unas a través de la matriz y otras a través de las inclusiones y matriz respectivamente. Se debe suponer además, que estas fisuras contienen materiales que facilitan el paso de corriente eléctrica, tales como soluciones de iones de alta movilidad. La situación así planteada ofrece una variedad de recorridos al flujo eléctrico que se quiere imponer desde el exterior a la muestra. En efecto, este trozo de material puede ser reemplazado por un circuito equivalente como el mostrado en la figura 2. La resistencia R1 representa la oposición a que la corriente circule por la masa matriz; cuando R1 es muy baja, gran parte de la corriente circulará por ella apareciendo como resultado neto que las inclusiones de resistencia R3 no participarán en el efecto de conducir corriente. Si estas inclusiones consistieran en partículas de mineral útil, el método eléctrico carecería de aplicación. La resistencia R2 representa la dificultad al paso de corriente por las fisuras. Si R2 es mucho menor que R1, el flujo de corriente tenderá a circular por la primera. Al mismo tiempo, aquellas fisuras que conducen a la inclusión de resistencia R3, obligarán a que la corriente circule por ella, produciéndose en algunos casos efectos de inducción L o también efectos de capacitancia C.

Esta discusión está indicando claramente bajo que condiciones y en que forma, las propiedades eléctricas son útiles en la prospección geofísica.

Las propiedades físicas aquí discutidas han presentado siempre un desafío a la técnica de mediciones de fenómenos físicos. Estas técnicas han sido determinantes en el progreso de la geofísica y, a través de los diversos métodos empleados, han permitido finalmente desarrollar los métodos eléctricos de prospección conocidos principalmente como: Resistividad, Potencial Espontáneo, Electromagnético y Polarización Inducida.

EVALUACION DE LOS METODOS DE PROSPECCION GEOFISICA

El método geofísico que se debe aplicar puede determinarse principalmente a partir de la clasificación geofísica de los depósitos minerales. Sin embargo, comúnmente existen otros factores que condicionan la elección definitiva del método a aplicar.

Factores tales como: roca encajadora, forma de la estructura, topografía, geografía, costos, etc. tienen comúnmente decisiva importancia sobre el método a emplear y sobre la forma de proceder con la interpretación. En otras palabras, el método geofísico correcto a emplearse dependerá de la habilidad y de la posibilidad que tenga el geofísico de analizar y discriminar todos los factores de una manera lógica y conveniente. Ejemplos de tales factores que dificultan la selección de una determinada técnica de prospección serían:

Terreno de topografía muy abrupta en el caso de usar gravímetro.

Ocurrencia de rodados de magnetita en el caso de levantamientos magnéticos terrestres.

Ocurrencia de estructuras no vetiformes en el caso de aplicar métodos electromagnéticos.

Tamaño y profundidad del cuerpo mineralizado para la determinación de la disposición de electrodos en el caso de aplicar polarización inducida.

Resulta de mucha importancia considerar el tipo de tarea, o mejor, que clase de información se espera obtener con geofísica. En relación a geofísica minera existen dos campos bastante bien diferenciados:

- a) **Exploraciones.** Areas vírgenes donde no se dispone de muchos datos geológicos y el principal propósito es encontrar cualquier clase de mineral útil.
- b) **Prospecciones.** Distritos mineros, estudiados geológicamente o casos aislados conocidos donde sólo se pretende encontrar más detalles o

simplemente confirmar alguna teoría geológica propuesta.

En el primer caso, no podría recomendarse un método específico sino que probablemente varios de ellos. En el segundo caso, la información geológica determinará, sin lugar a dudas, el mejor método de prospección y de interpretación de los resultados.

Muchas otras consideraciones pueden presentarse en esta discusión. Para una mejor evaluación de los métodos geofísicos se recomienda analizar la Tabla 3.

EVALUACION DE LOS METODOS GEOFISICOS

TABLA 3

Factores Que Se Deben Considerar Al Aplicar Un Método Geofísico		
Gravimetría	Magnetometría	Métodos Eléctricos
1.- Contraste de densidad.	1.- Contraste magnético.	1.- Contraste de resistividad.
2.- Regularidad de la densidad.	2.- Tamaño de los cuerpos en relación a su profundidad.	2.- Tamaño de los cuerpos en relación a su profundidad.
3.- Tamaño del cuerpo en relación a su profundidad.	3.- Cercanía con otros cuerpos.	3.- Profundidades moderadas.
4.- Cercanía con otros cuerpos.	4.- Magnetismo remanente.	4.- Resistividad de la capa superficial adecuada.
5.- Topografía de la superficie.	5.- Objetos magnéticos extraños como rieles, cañerías etc.	5.- Topografía regularmente suave.
6.- Disponibilidad de cartas topográficas a gran distancia.	6.- Bajo costo.	6.- Ausencia de conductores extraños, cables, rieles etc.
7.- Alto costo.		7.- Electromagnéticos mejor apropiados para cuerpos vetiformes.
		8.- Profundidad de investigación controlable.
		9.- Polarización inducida y resistividad apropiados para cuerpos de gran volumen.
		10.- Regular y alto costo.
En todos los métodos y dependiendo del caso, se debe considerar la posibilidad de combinación de varios métodos.		
Todos los métodos geofísicos requieren un detallado apoyo geológico para una interpretación adecuada.		

Prospección de Sulfuros Macizos

Probablemente, la tarea más común en geofísica de prospección minera, es la búsqueda de sulfuros macizos. Según las definiciones dadas más arriba, casi todos los métodos geofísicos podrían aplicarse. Es típico el caso de la aplicación del método electromagnético en lugares donde se conoce la existencia de vetas, pero se desconoce en que dirección se extienden o tienen su mejor desarrollo.

Es muy corriente que los depósitos de sulfuros macizos, se encuentren emplazados en grietas que dieron origen a vetas parcialmente rellenadas con sulfuros, otros materiales conductores y magnetita. La existencia de estos materiales conductores nos lleva a recordar que no todo sulfuro macizo es buen conductor y que contrariamente no todo conductor es un cuerpo de sulfuro.

La primera situación, puede explicarse pensando en la forma en que está constituido uno de estos cuerpos. Muchos de los minerales, individualmente presentan excelente conducción eléctrica, en cambio, otros son verdaderos aisladores interrumpiendo el paso de la corriente a todo el sistema. Por esta razón, un depósito relativamente rico puede pasar inadvertido con el uso del método electromagnético. La segunda idea, corresponde al caso donde minerales de ganga como arcilla, grafito, ayudan a conducir la electricidad en tal medida que promueven el hallazgo de importantes anomalías electromagnéticas comparables con aquellas producidas por cuerpos de sulfuros macizos. Sin embargo, esta desafortunada situación puede en algunos ejemplos servir de guía para la aplicación de otros métodos ya que estas anomalías pueden conducir al descubrimiento, en forma indirecta, de mineralización económica.

Del estudio de diversos casos de aplicación a la búsqueda de cuerpos de sulfuros macizos se puede concluir:

- 1.- La aplicación del método magnético, es muy conveniente cuando minerales tales como magnetopirita y magnetita se encuentran asociados a los sulfuros útiles.
- 2.- La aplicación del método electromagnético entrega datos sobre detección directa de sulfuros macizos y también puede detectar otros cuerpos conductores que sirven en forma indirecta a la búsqueda de estructuras favorables para la concentración de minerales útiles. El método electromagnético TURAM y Slingram, terrestres o

aéreos son los más apropiados para esta clase de prospección.

- 3.- La búsqueda de cuerpos de sulfuros macizos puede hacerse, tanto en la superficie del terreno como a cierta altura sobre éste.
- 4.- El costo de la aplicación de estos métodos es muy bajo comparado con la información que suelen entregar. El método aéreo puede cubrir grandes áreas en muy corto tiempo y sobre terrenos inaccesibles o remotos.

Respecto a la información que se puede lograr, es posible resumir:

- a) Si la prospección se hace aprovechando un método indirecto, tal como usando la combinación sulfuros-magnetita o estructuras de fallas con mucha arcilla, la información que se logra no puede considerarse definitiva, habrá que buscar otras informaciones adicionales para confirmar la presencia de minerales útiles.
- b) Por lo general, una vez ubicada una zona anómala, siempre es posible encontrar la fuente de producción del fenómeno físico detectado.
- c) La profundidad, forma y cantidad del material magnético y conductor que se ha detectado es mucho más difícil de precisar.
- d) La aplicación de los métodos electromagnéticos muestra fuertes limitaciones en terrenos con cubiertas muy conductoras, especialmente cuando se trata de sulfuros muy profundos y en terrenos de topografía abrupta.

Prospección de Sulfuros Diseminados

El método de polarización inducida (PI) es comúnmente el único que puede aplicarse a este tipo de distribución mineralógica.

Varios importantes "porphyry copper" se han descubierto en los últimos años con el uso de polarización inducida como método básico de prospección.

Toda nueva técnica de exploración debe pasar varios tipos de pruebas antes de llegar a establecer su verdadero poder de resolución. Generalmente instrumentos y métodos se someten a pruebas de laboratorio y terreno en condiciones conocidas. Es dudoso que se logre inventar o descubrir una técnica que sea infalible en la detección de minerales; son tan variados los factores que en el mejor de los casos se podrá estimar en que condiciones un método es mejor que otro.

La evaluación del método PI como una técnica efectiva de exploración se basa en los siguientes factores:

1. El método puede ser aplicado de tal manera que revela la presencia y distribución de minerales de lustre metálico, sin entregar muchas pistas falsas debido a otros minerales de propiedades similares.
2. Esta información es una valiosa guía para ubicar minerales de valor económico.
3. El costo de la aplicación del método permite su uso en la gran mayoría de los casos.

En relación al primer punto, la experiencia obtenida puede ser resumida en las cuatro siguientes conclusiones:

- a) Dentro de ciertos límites de tamaño, profundidad y porcentaje de sulfuros en volumen, el método PI puede establecer la presencia o ausencia de minerales de lustre metálico en casi la mayoría de los casos.
- b) Con menos exactitud, la extensión lateral de los sulfuros diseminados puede ser localizada.
- c) El orden de magnitud de la profundidad a la cual se encuentra la zona mineralizada es posible de apreciar en la mayoría de los casos.
- d) La estimación de la cantidad o porcentaje de sulfuros, puede algunas veces, ser determinada. En todo caso es la menos segura de las conclusiones.

El segundo punto en la evaluación del método PI requiere que el contenido de sulfuros sea una guía para encontrar minerales económicos. El análisis de un área candidata a PI es un problema geológico. Una vez determinada la presencia de anomalías PI vuelve a transformarse en problema geológico. El hecho que con PI se encuentra muchas veces un depósito de pirita no es un argumento válido para hacer una crítica negativa al sistema.

El tercer punto considera el costo de un estudio con PI. El costo varía fuertemente con el tipo de terreno, con la topografía y con la profundidad de investigación deseada, pero siempre se mantiene dentro de límites aceptables para empresas de mediana envergadura. Actualmente el costo total en terrenos moderadamente suaves y de conducción eléctrica aceptable se puede estimar en US\$ 80.- por día efectivo de trabajo.

Prospección de Minerales de Hierro

La prospección de hierro es la más antigua de las aplicaciones en geofísica. Además de los numerosos casos publicados, existen muchos en los cuales parece haberse hecho una aceptable interpretación de los datos y constituyen hoy yacimientos en producción. Históricamente la aplicación de geofísica de prospección comienza con la búsqueda de yacimientos de hierro. Los numerosos yacimientos de hierro que fueron encontrados por medio de estudios geofísicos permite apreciar el grado de confiabilidad que se puede esperar del método magnético de prospección.

Entre las ventajas del método magnético se encuentra el hecho que difícilmente una masa magnética puede dejar de ser detectada. La precisión de los actuales magnetómetros es tal, que cuerpos relativamente pequeños y profundos no escapan a la sensibilidad de los detectores. Esta cualidad es especialmente importante para los magnetómetros aéreos. Como consecuencia de este concepto, siempre que se proyecte correctamente un sondaje, éste encontrará un material magnético en suficiente cantidad y calidad como para justificar la anomalía magnética detectada lejos del foco magnético. Esta cantidad y calidad de material magnético, no son necesariamente las que define un depósito económicamente explotable.

Sin quitar importancia a estas ventajas del método magnético, existen varios inconvenientes al tratar de interpretar los datos magnéticos:

- a) Las curvas de igual atracción magnética, empleadas comunmente en el mapeo de anomalías magnéticas, no representan ni siquiera aproximadamente, la forma del cuerpo magnético; aún más, iguales formas de curvas isomagnéticas pueden corresponder a distintas geometrías de un cuerpo magnético.
- b) En latitudes con ángulos de inclinaciones bajas del campo magnético, los valores anómalos máximo y mínimo se encuentran bastante desplazados con respecto al cuerpo magnético. Este hecho incide principalmente en que el área que debe ser levantada magnéticamente es muchas veces mayor que el área ocupada por el cuerpo magnético.
- c) La susceptibilidad magnética es una de las propiedades más caóticas usadas en geofísica; debido a esto, las anomalías observadas relativamente lejos del cuerpo magnético sólo representan un cuadro global del efecto magnético compuesto por todos los fragmentos de rocas.

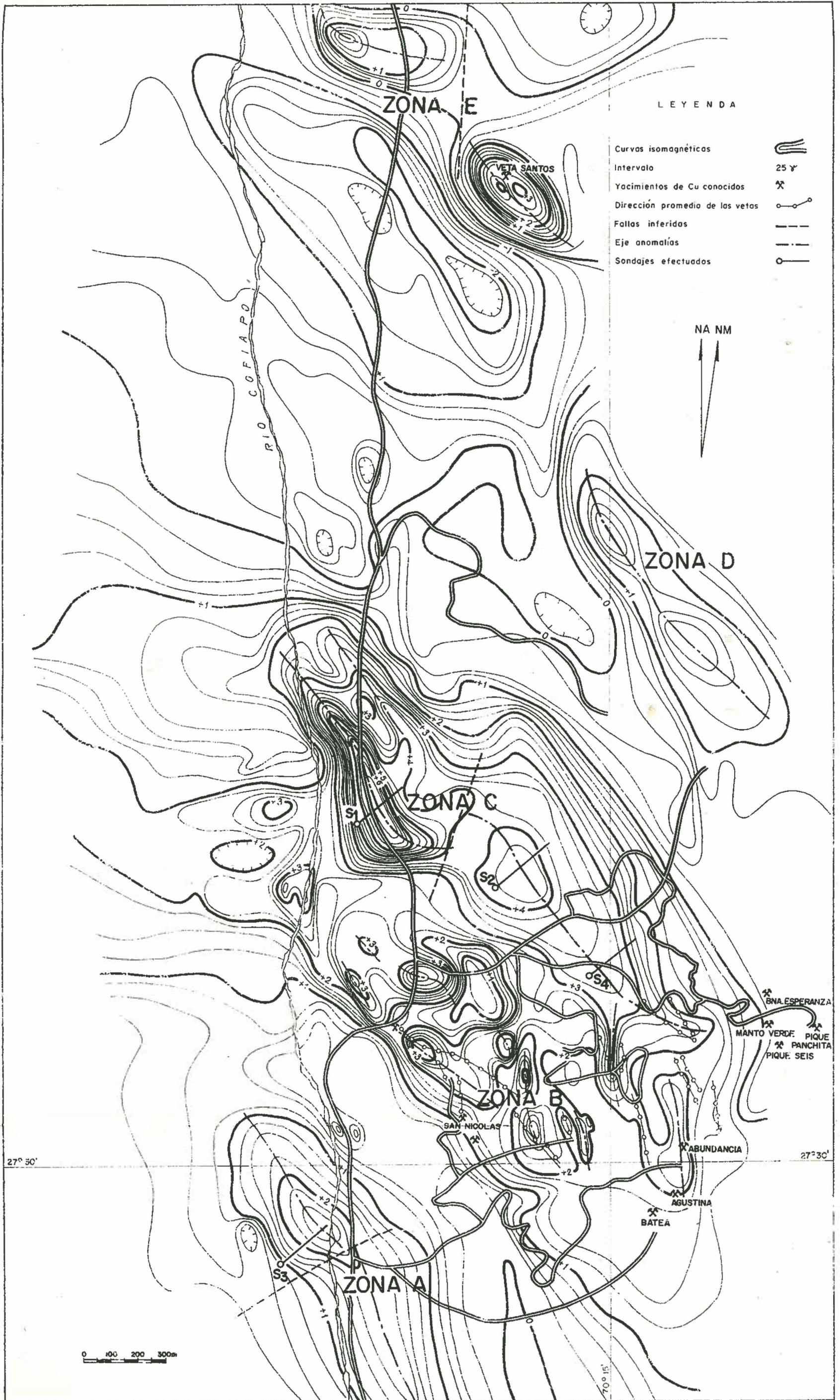


Figura 3. Levantamiento magnético. Distrito Minero Punta del Cobre. Atacama.

Esta última consideración implica, en parte, lo difícil que resulta tratar de interpretar en detalle la distribución de los minerales de hierro dentro del yacimiento descubierto con el método magnético.

Algunas de las dificultades anteriores pueden ser parcialmente eliminadas con el uso de otros métodos geofísicos.

La gravimetría es útil para ubicar con mayor exactitud la posición de un cuerpo magnético denso. Se obvia de esta manera la propiedad polarizable que presentan las sustancias magnéticas. El máximo gravimétrico debe estar sobre el centro de gravedad del cuerpo denso. Sin embargo, el centro de gravedad no necesariamente se encuentra dentro de la masa causante de la anomalía gravimétrica. Otra de las ventajas que resulta de la combinación magnetometría-gravimetría es la posibilidad de considerar como un todo los minerales magnéticos y no magnéticos de hierro, dentro del yacimiento, mientras éstos sean más pesados que la roca encajadora.

En general la gravimetría resulta un método bastante más lento y costoso que la magnetometría, por lo que sólo debe aplicarse en casos muy bien justificados.

EJEMPLOS DE APLICACION

Estudio Geofísico en el Distrito Minero Punta del Cobre, Atacama.

El distrito minero Punta del Cobre se encuentra en la provincia de Atacama, en las vecindades de la fundición Paipote. Este distrito ha constituido por muchos años una importante fuente de producción de minerales de cobre.

Los diversos yacimientos del distrito son vetas encajadas en las formaciones Punta del Cobre y Abundancia las que corresponden a rocas estratificadas marinas de edad neocomiana. La primera de estas unidades aparece intruída por dos cuerpos de albitófiro. Al oeste del distrito aflora una extensa aureola metamórfica de contacto de hasta 3,5 km de ancho, producida por el emplazamiento de intrusivos granodioríticos del Cretácico en rocas sedimentarias predominantemente calcáreas del Neocomiano (Ortíz, *et al.*, 1966). Parte de esta zona de contacto, se encuentra cubierta por sedimentos modernos poco consolidados, los que como veremos más adelante, están cubriendo un posible yacimiento de minerales de cobre que viene a sumarse a las reservas mineras de la región.

El estudio geofísico se basó principalmente, en la relación entre minerales de cobre y hierro. En efecto, la presencia de magnetita había sido detectada en los depósitos conocidos dentro del distrito. Se utilizó, por lo tanto la magnetita, como mineral guía en la prospección de nuevos depósitos. El levantamiento magnético se realizó con el magnetómetro ABEM MZ-4 de torsión y cubrió un área de aproximadamente 6 x 3 km con estaciones separadas cada 50 m y menor en algunos lugares de interés (fig. 3). Se detectaron de esta forma, varias anomalías magnéticas, las que se clasificaron en zonas A,B,C,D y E según su intensidad magnética y ubicación respecto a las diversas unidades geológicas del distrito. En base a estos antecedentes se programaron cuatro sondajes, marcados en la figura 3, de los cuales sólo el S₃ resultó positivo en cuanto al contenido de cobre. En general, las zonas magnéticas sepultadas fueron ubicadas con los sondajes, aunque los cálculos de profundidad estimados fueron siempre mayores que los valores reales. La zona A, completamente cubierta por terrenos de acarreo presenta una anomalía magnética alrededor de 2.500 γ y la curva magnética de 1000 γ cubre un área de 1000 x 500 m aproximadamente.

En la primera tentativa de interpretación de los datos magnéticos se usó el método propuesto por Bruckshaw y Kunaratnam (1963) de donde se obtuvieron varias soluciones para cada interpretación.

El número de soluciones podría haberse disminuído, en el caso que algún dato como el ancho o profundidad del techo del cuerpo se hubiesen conocido por otro medio. Posteriormente el sondaje S₃ viene a resolver parcialmente el problema de la profundidad y potencia de la zona mineralizada, con lo que fué posible hacer una reinterpretación de los datos magnéticos (fig. 4). Hasta el momento, no se ha determinado la extensión de la mineralización en el sentido longitudinal, para lo cual se requerirá de otros sondajes. Se ha intentado resolver esta incógnita, aplicando un potencial eléctrico en la zona mineralizada ubicada dentro del sondaje y determinando la distribución de este potencial en la superficie. Aparentemente, el resultado es muy similar al entregado por la anomalía magnética por lo que se puede suponer que la extensión de la mineralización es de por lo menos 700 m en la dirección NS (fig. 5). La necesidad de realizar nuevos sondajes en este distrito y en especial en la anomalía A, parece evidente. Posteriormente, se realizó un perfilaje eléctrico dentro del sondaje S₃, el que servirá en el futuro para la correlación con otras perforaciones. Es importante notar que los cambios de resistivi-

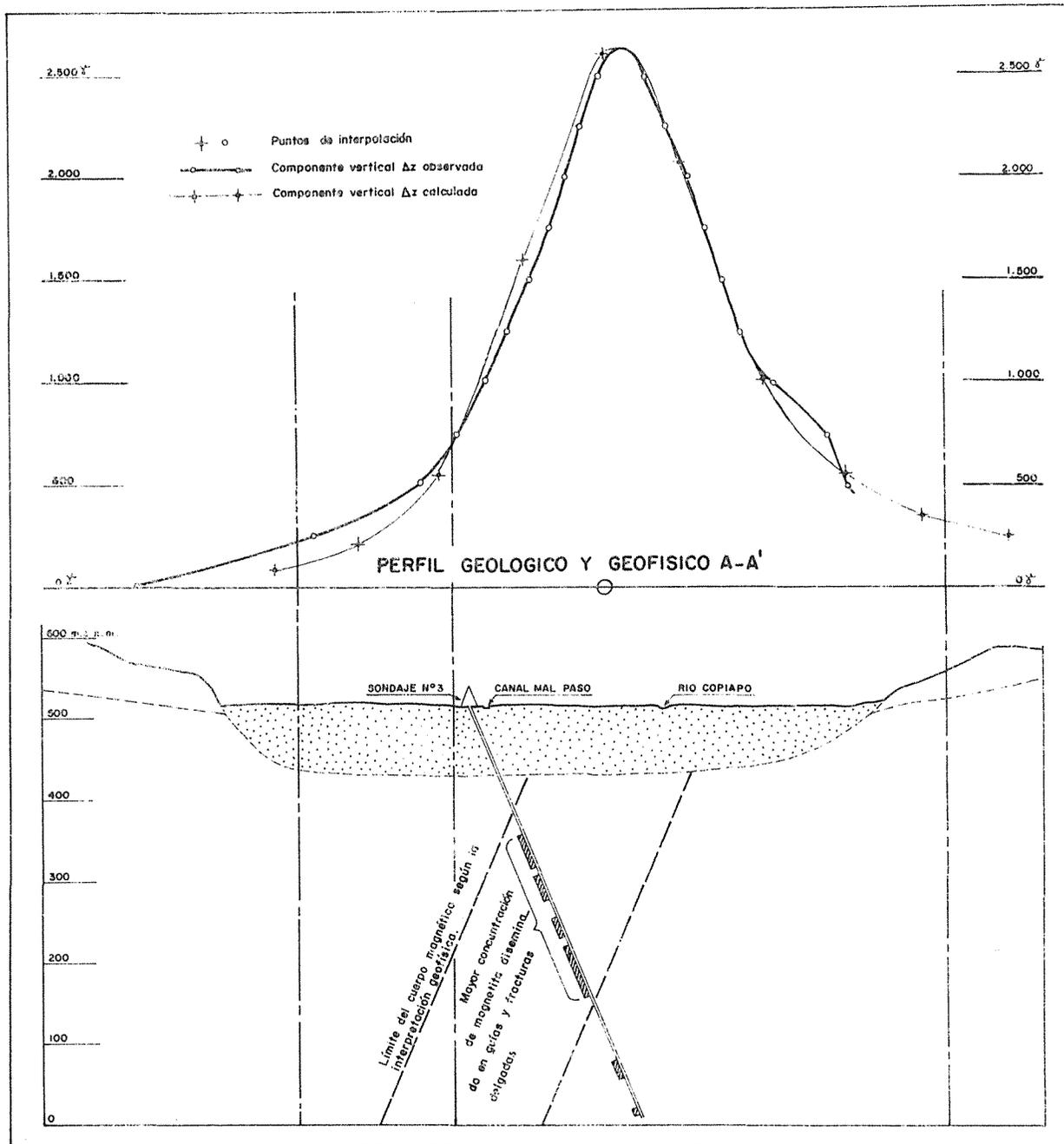


Figura 4. Perfil geológico y geofísico A-A' de la anomalía magnética A. Distrito Minero Punta del Cobre, Atacama.

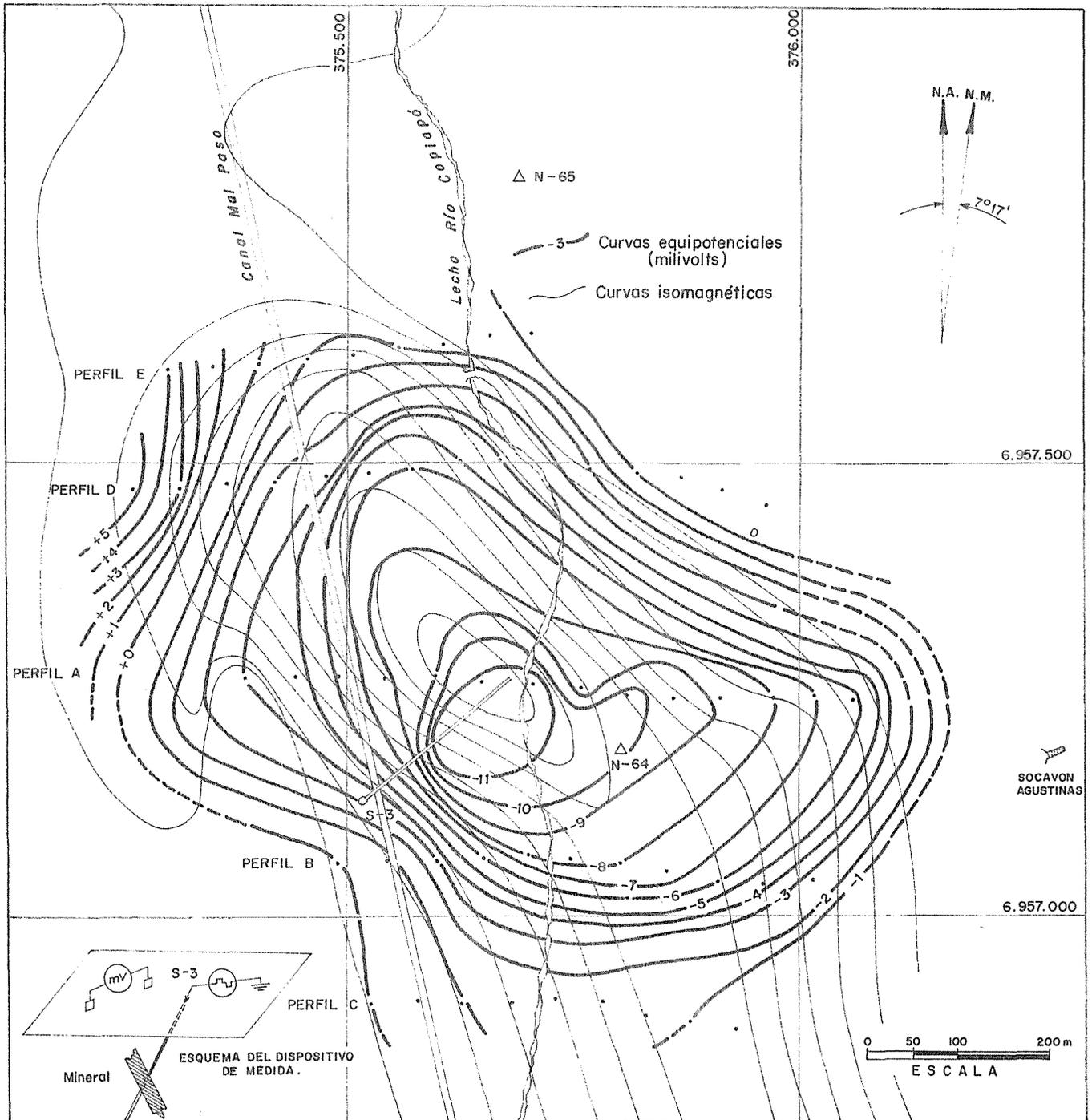


Figura 5. Resultado del potencial aplicado en el sondaje S3. Curvas equipotenciales e isomagnéticas alrededor del sondaje S3. Distrito Minero Punta del Cobre, Atacama.

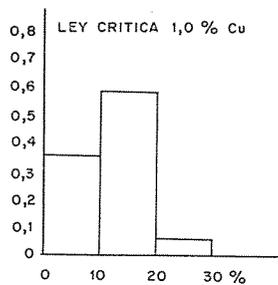
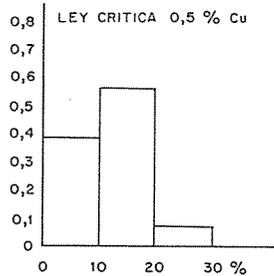
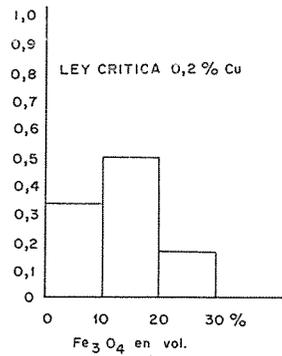


Figura 7. Distribución probabilística de la relación magnetita-cobre en el Sondeo S3. Distrito Minero Punta del Cobre, Atacama.

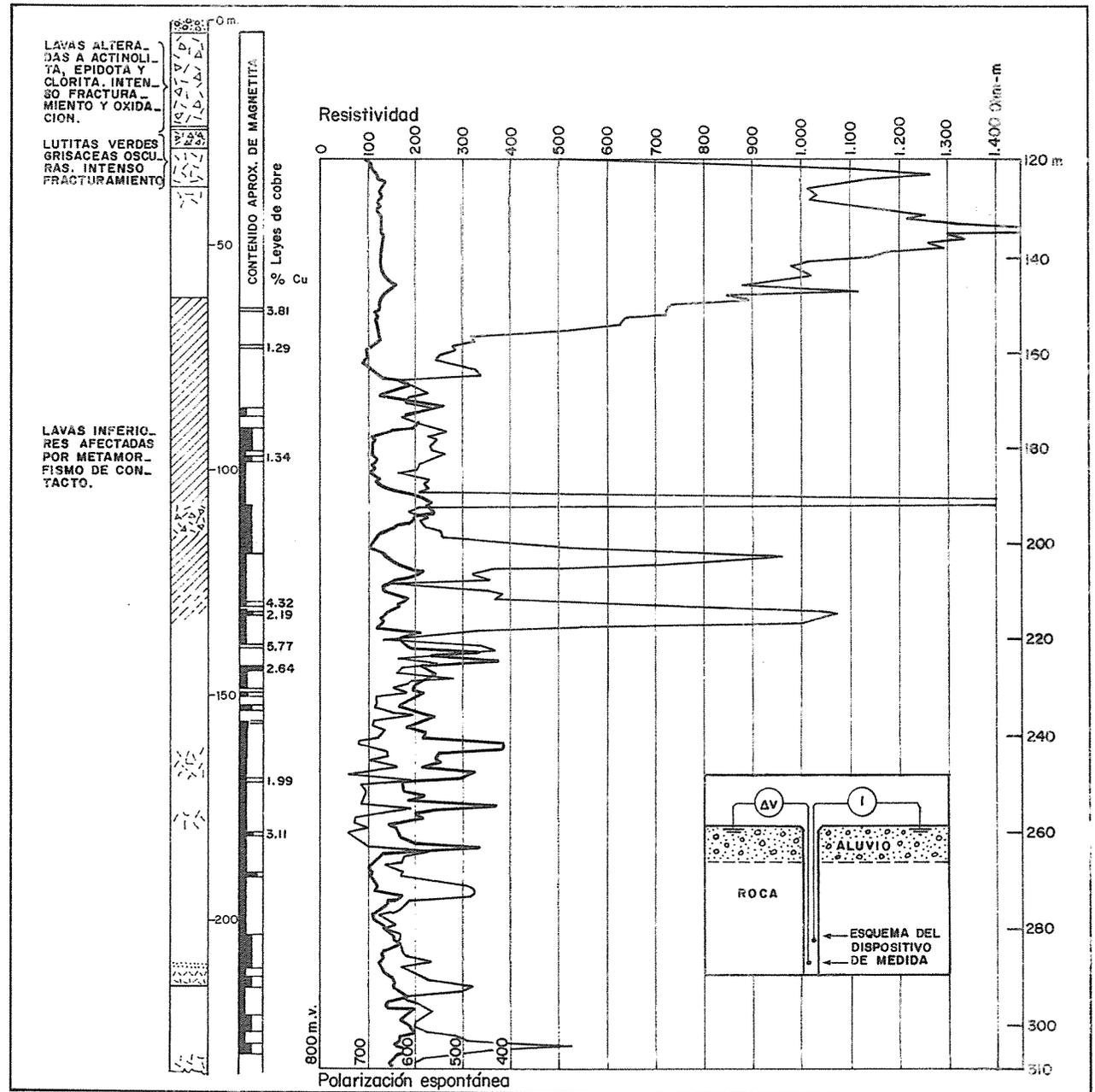


Figura 6. Perfilaje eléctrico del sondeo S3. Distrito Minero Punta del Cobre, Atacama.

dad observados dentro del sondaje, están controlados por la mineralización de hierro y cobre según se desprende del perfilaje del pozo S₃ en la figura 6.

Una de las más importantes conclusiones obtenidas en este estudio, fue la correlación, entre la cantidad de magnetita y sulfuros de cobre. La mencionada relación no es perfectamente lineal, sino que contrariamente, existe sólo un rango de contenido de magnetita que es favorable a la mineralización de cobre. Esta conclusión está graficada en las curvas de distribución y en el histograma probabilístico de la figura 7, se puede, por lo tanto, observar lo difícil que resulta predecir en el caso de asociación cobre hierro, cual de las anomalías será de importancia para encontrar mayor concentración de minerales de cobre. En este caso por ejemplo está claro que la mayor concentración de cobre se encuentra en relación al rango 10-20 por ciento en volumen de magnetita.

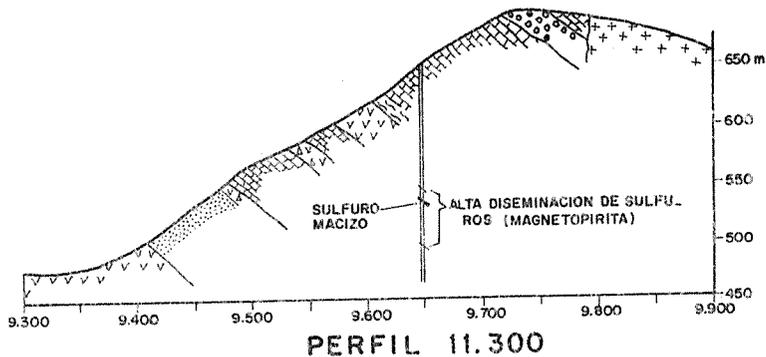
Estudio Geofísico en el Distrito Minero Cabildo, Aconcagua.

El distrito minero de Cabildo, vecino a la planta de concentración Cabildo de ENAMI, comprende varios pequeños yacimientos de cobre tipo manto. Estos se encuentran emplazados en la formación Lo Prado, compuesta principalmente por rocas sedimentarias que han sido parcialmente afectadas por diversos grados de metamorfismo de contacto. Bajo esta formación y aparentemente en concordancia subyace una secuencia de rocas volcánicas que se han asignado a la formación Pachacama. Las rocas intrusivas están representadas por una apófisis de granodiorita que aflora al norte del área estudiada. Los estratos de la región constituyen un monoclinal de rumbo aproximadamente norte sur con inclinación de 30° -45° al este. El yacimiento que corresponde a la mina El Sauce está formado por cuatro mantos que tienen, en general, concordancia con la estratificación regional. Su potencia total, la cual incluye los cuatro mantos, alcanza los 40 m. La roca huésped corresponde a una caliza metamorfoseada tipo skarn constituida principalmente por granate, epidota, calcita, piroxena y cuarzo. La mineralización corresponde a calcopirita, magnetopirita y pirita, y se encuentra asociada a la roca skarn. En general la mineralización se encuentra ligada a un fenómeno de metamorfismo de contacto y se ubica donde el sedimento calcáreo ha sido transformado a roca skarn. Estas zonas metamórficas se encuentran limitadas tanto en el sentido horizontal como vertical produciéndose cuerpos ciegos imposibles de detectar con los métodos geológicos convencionales. (Rivera, A., *et al.*, 1970).

El estudio geofísico fue basado en la búsqueda de cuerpos vetiformes de mineralización maciza. En efecto, la abrupta topografía del terreno permite que los mantos mineralizados corten el perfil topográfico con fuerte ángulo, lo que para este propósito equivale a una estructura similar a una veta. Estos y otros antecedentes nos indicaron que la aplicación del método electromagnético TURAM debería ser apropiado. El resultado del levantamiento TURAM comprobó la existencia de algunas anomalías de fase y amplitud, que en general muestran la misma tendencia de las estructuras mineralizadas conocidas en la mina El Sauce. Para el levantamiento electromagnético se utilizó un cable emisor de 2.000 m colocado aproximadamente paralelo a la estratificación de los mantos mineralizados. Se levantaron de esta manera diez perfiles de 500 m de longitud, a lo largo de los cuales se observó la diferencia de fase $\Delta \varphi$ y la razón de amplitud R para cada posición de las bobinas receptoras. Las medidas se registraron cada 20 m y 10 m, según se estimó necesario, mientras que las bobinas receptoras se mantuvieron a 20 m una de la otra. El levantamiento se realizó utilizando las dos frecuencias disponibles de 660 cps. y 220 cps. En algunos perfiles las anomalías electromagnéticas son tan intensas que quedaron fuera de escala del instrumento para los 20 m de separación entre bobinas.

La determinación de la calidad del conductor se puede hacer utilizando la relación amplitud y fase, como también, analizando los resultados obtenidos con las dos frecuencias. Ambas consideraciones determinan la existencia de un cuerpo mineral de excelentes condiciones de conductividad, lo que podría traducirse en el descubrimiento de algún cuerpo de sulfuro macizo. El cálculo de la profundidad, a partir de los datos electromagnéticos resultó bastante difícil de realizar, debido a que las anomalías presentan varias irregularidades. Es probable que éstas provengan de la existencia de varios pequeños cuerpos de sulfuros, de la fuerte topografía del lugar y de las corrientes galvánicas originadas por la modalidad de trabajo empleada. En la zona de la mina El Sauce, el relieve del terreno resultó bastante crítico. Las anomalías electromagnéticas en este lugar, resultaron mínimas debido a que el receptor que se desplaza en la superficie quedaba, por el efecto topográfico, a gran distancia del cuerpo conductor.

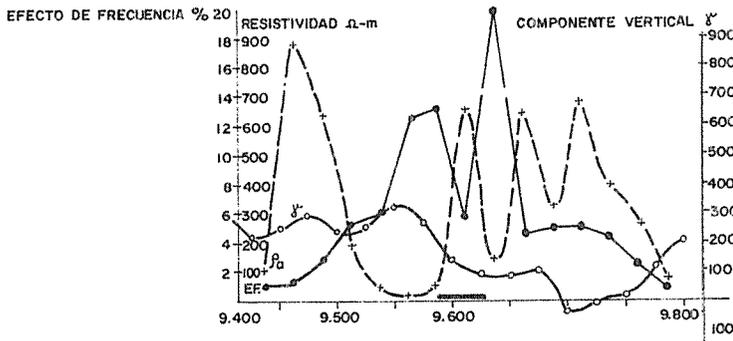
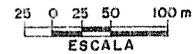
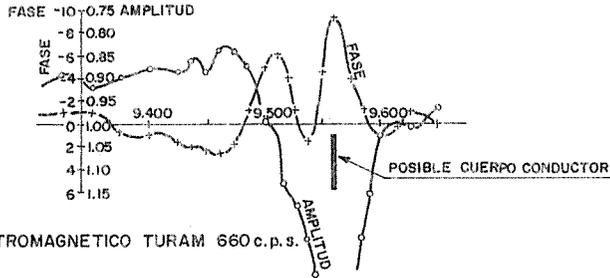
Posteriormente al levantamiento electromagnético, se realizó, sobre los mismos perfiles, un estudio de polarización inducida. A pesar que esto no era estrictamente necesario, se insistió en este segundo estudio,



LEYENDA

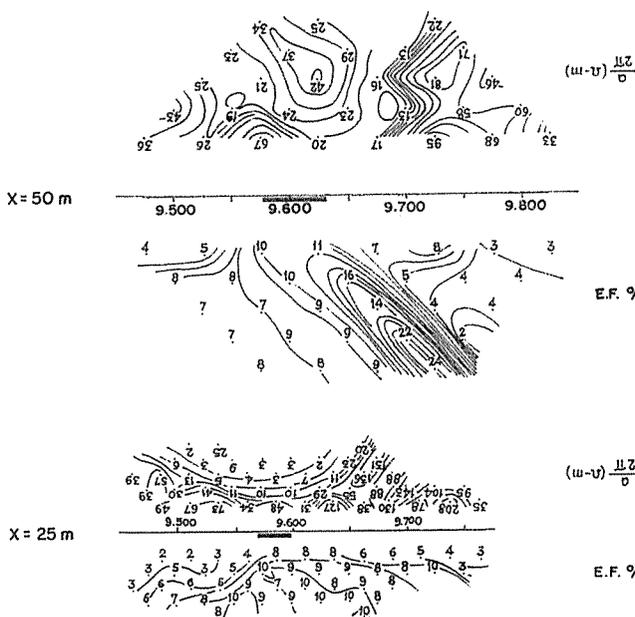
	CALIZA
	ANDESITA
	ARENISCA
	ANDESITA BRECHOSA
	CONGLOMERADO FINO
	GRANATITA
	ANDESITA BRECHOSA
	PORFIDO

PERFIL 11.300



LEYENDA

E.F. Efecto de Frecuencia	
ρ_a Resistividad Aparente	
γ Magnético	
Zona Anómala	



DISPOSICION DE ELECTRODOS

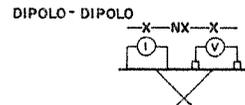
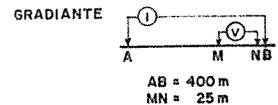


Figura 8. Resultados de los estudios electromagnético, magnético, resistividad y polarización inducida y sondaje en Perfil 11.300 la zona Mina El Sauce. Distrito Minero Cabildo, Aconcagua.

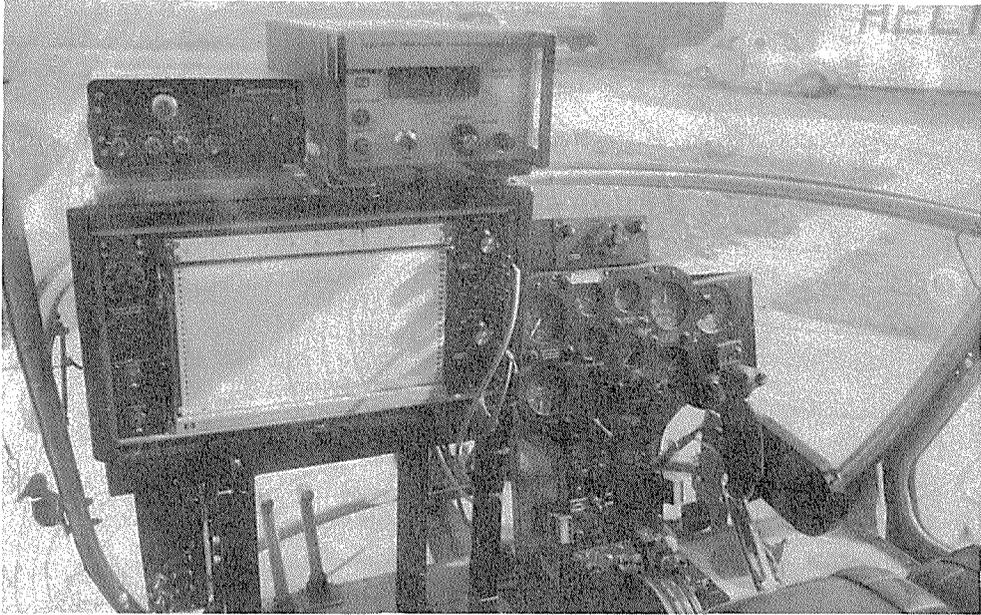


Figura 9. Magnetómetro de precisión nuclear Scintrex, instalado a bordo del helicóptero FAIRCHILD 12 E.

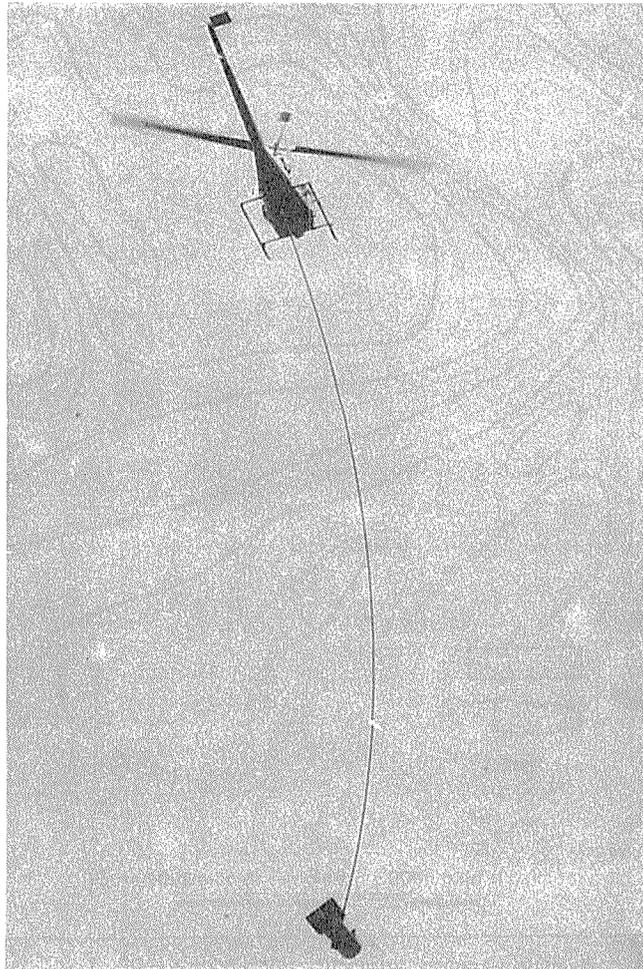


Figura 10. Detector remolcado a 30 m bajo el helicóptero.

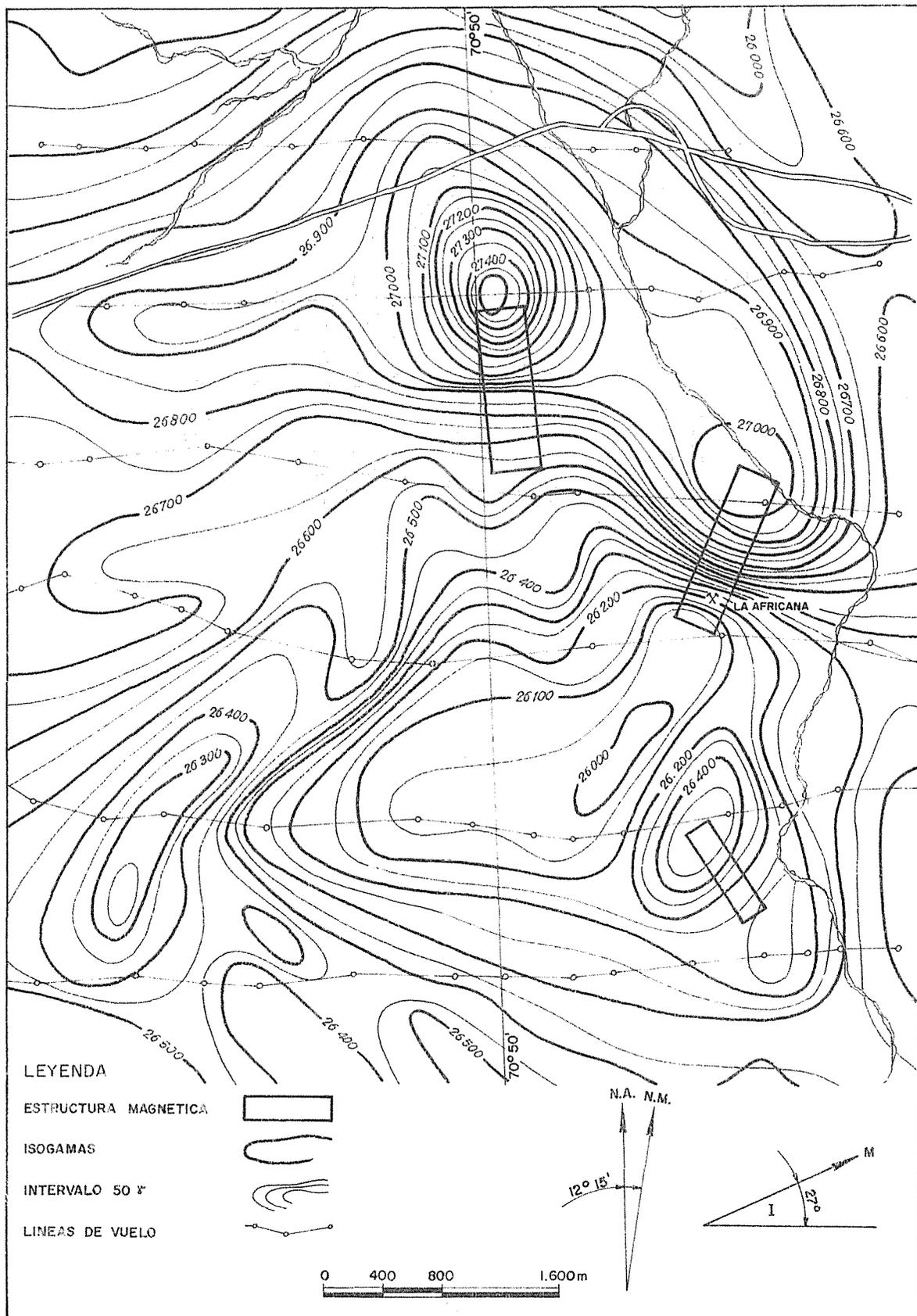


Figura 11. Plano del campo aeromagnético total. Anomalía LP - 1. Zona La Africana. Distrito Minero Lo Prado.

el que tendría por objeto comprobar la existencia de concentraciones de sulfuros.

Primeramente el método de polarización inducida se aplicó usando el arreglo de electrodos dipolo-dipolo con separación de electrodos de 50 m, lo que ha permitido una considerable penetración en comparación al sistema TURAM. Posteriormente los perfiles 10.700 y 11.300 se repitieron con el sistema dipolo-dipolo para 25 m y con el sistema de arreglo de electrodos conocido como gradiente. De este modo se pretendió lograr mayor detalle, pero una menor profundidad de investigación. Todos los sistemas geofísicos, en sus varias modalidades de aplicación, indicaron los mismos resultados, lo que comprueba la existencia de un cuerpo de sulfuro macizo, vecino al que se conoce en la mina El Sauce. Ambos métodos geofísicos, electromagnéticos y polarización inducida, detectaron anomalías de alta intensidad, llegando en algunos casos al límite de lecturas del instrumento; por ejemplo algunos valores de polarización inducida muestran 24 por ciento de cambio de resistividad con el cambio de frecuencia.

Los resultados de los diversos métodos geofísicos aplicados en este trabajo, se han resumido en la figura 8, donde se muestra el perfil 11.300 incluyéndose los resultados geológicos de superficie y del sondaje exploratorio recomendado para la comprobación y evaluación de las informaciones geofísicas antes discutidas. De estos resultados puede comprobarse que el sondaje exploratorio fué colocado bastante más al este de las anomalías geofísicas. El propósito de esta ubicación está bastante clara y obedece principalmente a la dirección de la estratificación de las rocas sedimentarias del lugar. El resultado del sondaje, es bastante satisfactorio para justificar la anomalía de polarización inducida, ya que existe suficiente cantidad de sulfuros diseminados. La anomalía electromagnética TURAM, sin embargo, no queda bien explicada, debido a que no se encontró abundante mineralización maciza de sulfuros. Probablemente los sulfuros macizos no profundizan hasta la zona cortada por el sondaje. Otros sondajes en el área y programados del mismo modo, también comprobaron la existencia de sulfuros, pero con un mayor contenido de cobre.

Levantamiento Aeromagnético Lo Prado, Santiago

El estudio geofísico, realizado en el área de Lo Prado, ubicada al sur poniente de la ciudad de Santiago, abarca la superficie de una figura de aproximadamente 25 x 27 km. El trabajo de geofísica consistió en un levantamiento aeromagnético, para el cual se

utilizó el magnetómetro MAP-2, fabricado por Scintrex-Canadá, montado en un pequeño helicóptero FH-12E de Helicopservices - Chile Ltda. (figs. 9 y 10). El levantamiento se efectuó en líneas de vuelo de dirección E-W separadas por 1 km y a una altura aproximada de 200 m sobre el terreno. La operación completa de terreno consistió en 12 horas efectivas de vuelo, las que se completaron en 3 días de trabajo en Octubre de 1971.

Este estudio aeromagnético constituye una prospección indirecta de yacimientos de cobre. En efecto, estudios geológicos-geofísicos previos habían demostrado la correlación cobre-magnetita por lo que el método magnético se consideró recomendable. Debido a que la región presenta fuerte relieve topográfico e intensa vegetación, el costo de cualquier trabajo de terreno resultaría muy alto por lo que se resolvió realizar primeramente una exploración aérea de modo de seleccionar, para prospección terrestre, sólo áreas que resultasen de mayor interés.

Geológicamente, el área Lo Prado abarca las formaciones Lo Prado, Veta Negra y una gran extensión de rocas intrusivas variando de dioritas a granitos.

Las zonas mineralizadas, conocidas hasta el momento, corresponden a las regiones de contacto del batolito con las diferentes rocas sedimentarias y volcánicas. La mineralización se localiza preferentemente en estructuras de fallas o grietas de tendencia NNE. (Thomas, 1958).

El trabajo original se efectuó a la escala 1:20.000, que corresponde a la escala de los mosaicos fotográficos disponibles para el área. Posteriormente el plano de isoanómalas fue reducido a otras escalas.

De la interpretación de los resultados se desprende de la existencia de seis áreas magnéticamente anómalas. En general, existe buena correlación entre las zonas de contacto, sedimentos intrusivos y las anomalías magnéticas. Por ejemplo: la anomalía LP1-2, (mapa aeromagnético, Lo Prado) corresponde a la estructura de la mina La Africana (L. Silva; C. Pimstein, 1972). Esta correlación geológica-geofísica es de vital importancia para este estudio, ya que está demostrando la utilidad del método magnético en la primera fase de exploración de yacimientos con suficiente cantidad de magnetita como mineral de ganga.

Del tipo de anomalías encontradas durante el estudio, se deduce que la interpretación debe necesariamente hacerse usando modelos de tres dimensiones y

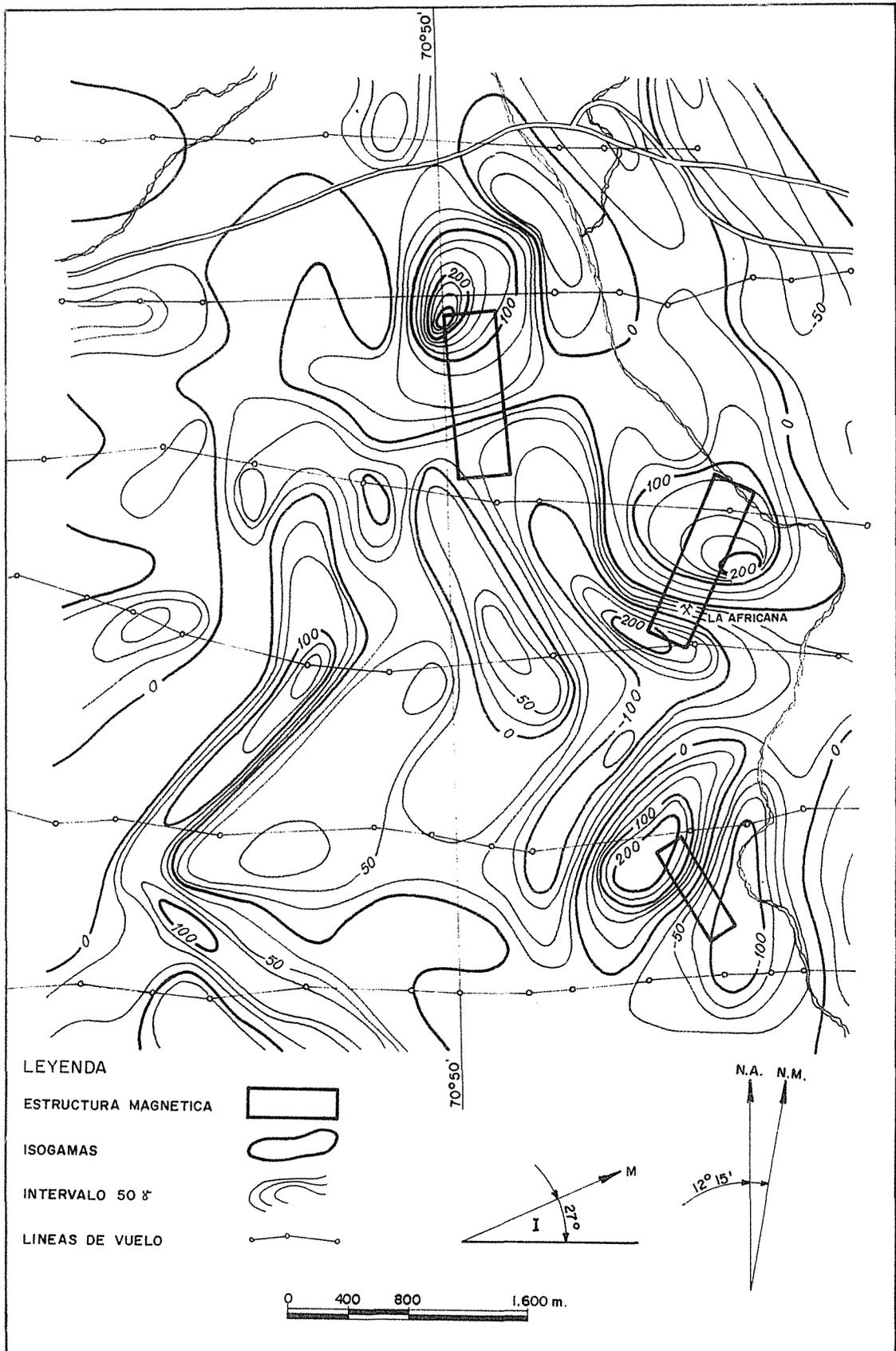


Figura 12. Plano del campo magnético total residual Mina La Africana. Distrito Minero Lo Prado.

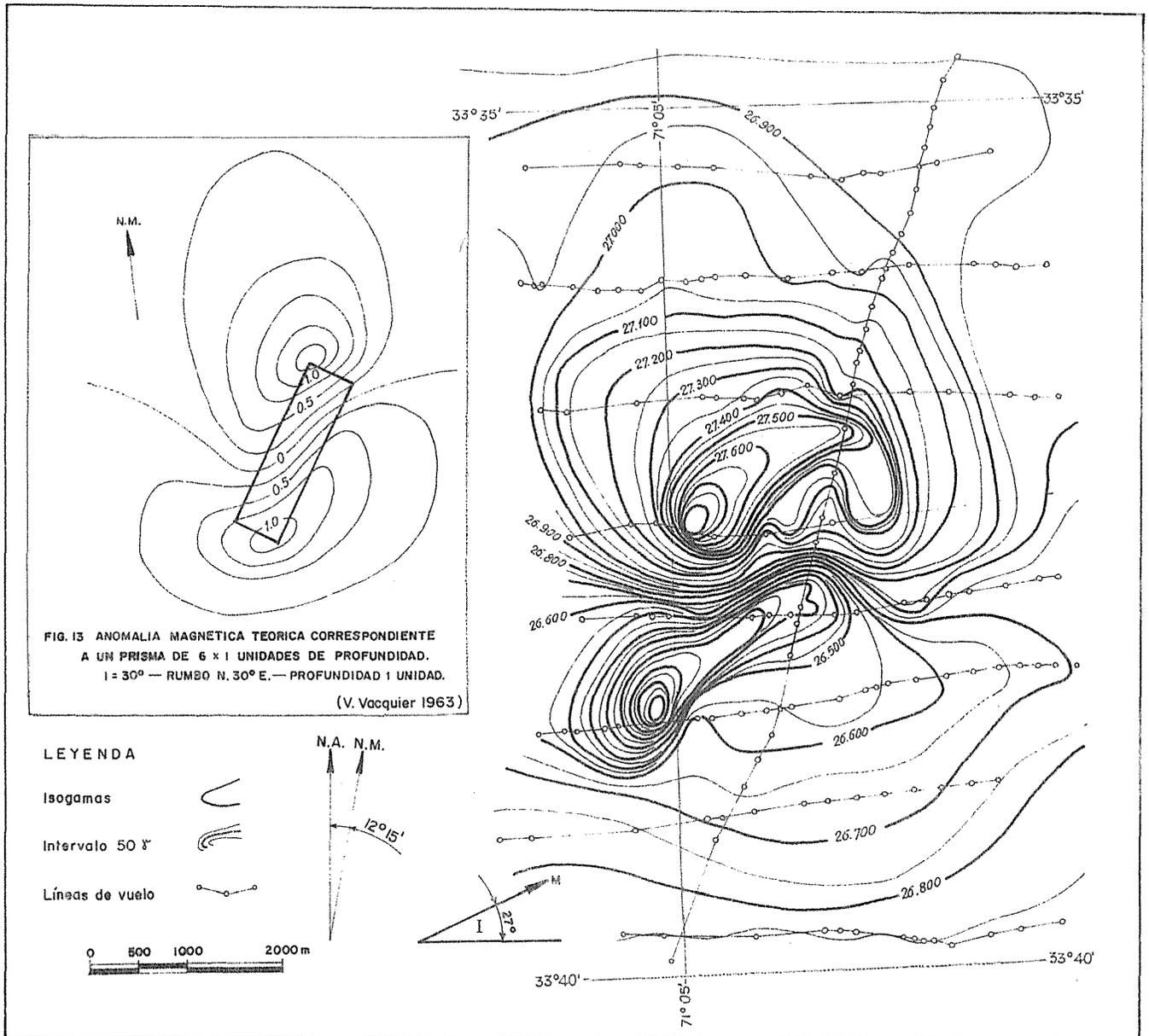


Figura 14. Plano del campo aeromagnético total. Anomalia LP - 6. Distrito Minero Lo Prado.

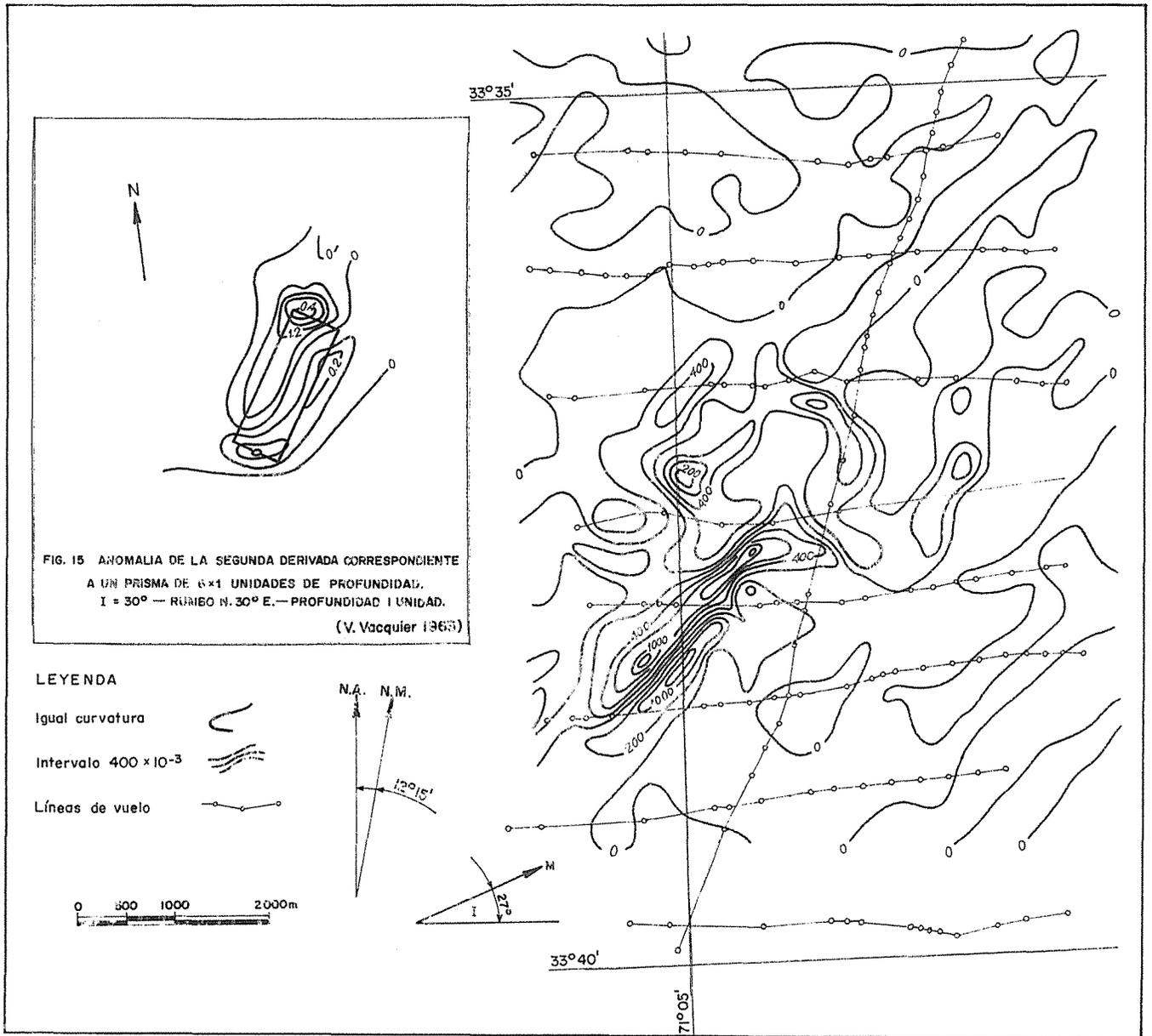


Figura 16. Plano de la segunda derivada de la anomalía LP - 6. Distrito Minero Lo Prado.

filtros que permitan la separación de las anomalías propiamente tales de aquellas variaciones muy locales o muy regionales.

La zona anómala LP-1 se interpretó usando un filtro de paso alto, de modo de separar más claramente las numerosas anomalías superpuestas y poco definidas (figs. 11 y 12). El uso de estas técnicas de interpretación generalmente requiere de una gran cantidad de datos lo que implica por lo tanto, menor distancia entre las líneas de vuelo. Esto último, a pesar de ser altamente recomendable, no se pudo realizar, principalmente por razones de orden económico y por la baja calidad de los mosaicos fotográficos usados para la navegación aérea.

Por otra parte, la anomalía LP6, admite otras técnicas de interpretación. Es posible encontrar un modelo matemático relativamente simple que proporcione una anomalía analíticamente calculada y aproximadamente igual a la observada; de esta manera y por comparación directa, se pueden obtener datos tales como: posición, dimensiones y profundidad del cuerpo magnético. La figura 13 representa un prisma magnético de 6×1 unidades de profundidad y su anomalía magnética correspondiente, la figura 14 en cambio, corresponde a la anomalía observada sobre la cual se ha dibujado la posición y dimensiones del probable prisma magnético que se puede obtener por comparación de ambas anomalías magnéticas. Considerando la forma suave que presenta la anomalía teórica en comparación con las irregularidades de la observada, se puede deducir la existencia de otros cuerpos vecinos, que en realidad producen formas más complicadas que simples prismas de caras planas. Haciendo la reducción a la escala adecuada y transformando la unidad de profundidad a unidades de longitud se obtiene que las dimensiones del prisma deben ser aproximadamente de 2000×500 m y el cual se encontraría a una distancia de 250 m bajo el nivel de observación de los datos. Vale decir relativamente cerca de la superficie del terreno.

En anomalías relativamente aisladas, como es el caso de LP6, se pueden aplicar otros operadores matemáticos que permitan resaltar ciertas características de una curva magnética.

Las figuras 15 y 16 corresponden a la anomalía de la segunda derivada o curvatura del campo magnético obtenida por cálculo analítico del modelo 6×1 de la anomalía observada respectivamente. Estas curvas permiten determinar con mayor exactitud la posición de la estructura magnética, ya que deforman las

curvas del campo magnético de tal manera que las zonas de mayor curvatura quedan claramente definidas.

A partir de un levantamiento aeromagnético, se pueden determinar zonas de interés para trabajos de detalle tanto de carácter geológico como geofísico. La naturaleza de la información obtenida, debe por lo tanto considerarse como preliminar y las recomendaciones más directas, como mapeo de detalle y sondajes, está subordinada a etapas bastante posteriores a la del levantamiento aeromagnético.

El caso presentado en esta oportunidad, tiene la importancia de haber localizado importantes alteraciones del campo magnético, las que posiblemente estén relacionadas con mineralización cobre-hierro de posible carácter económico y además de ser el primer levantamiento aeromagnético enteramente realizado por personal y equipos del Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.

BIBLIOGRAFIA

- American Geological Institute**, 1960, Glossary of geology and related sciences, with supplement: American Geological Institute, 2nd. Ed., Washington, 379 p.
- Anderson, C.D., Sutherland, D.B.**, 1971, DPM-1: A long wire dip-angle electromagnetic method: Geophysics, v. 36, n. 6, p. 1223 - 1231.
- Andreasen, G.E., Zietz, I.**, 1969, Magnetic fields for a 4×6 prismatic model: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 666, 9 p., 210 láminas.
- Apparao, A., Roy, A.**, 1971, Resistivity model experiments, 2: Geoexploration, v. 9, n. 4, p. 195 - 205.
- Araya, R., Silva, L., Ortíz, F.**, 1970, Informe geológico y geofísico sobre un programa de cuatro sondajes de exploración realizados en el distrito minero Punta del Cobre, Tierra Amarilla, Provincia de Atacama: Inf. Ined. IIG, 68 p., 19 fig., 1 anexo.
- Baltosser, R.W., Lawrence, H.W.**, 1970, Application of well logging techniques in metallic mining: Geophysics, v. 35, n. 1, p. 143 - 150.
- Becker, A., Telford, W.M.**, 1965, Spontaneous polarization studies: Geophys. Prosp., v. 13, n. 2, p. 173 - 188.
- Bertin, J.**, 1968, Some aspects of induced polarization: Geophy. Prosp., v. 16, n. 4, p. 401-426.
- Boschart, R. A.**, 1968, Ground EM prospecting - selection and adaptation of methods: Mining in Canada, 7 p.

- Bosschart, R.A., 1970, Multi-system airborne prospecting: Internat. Geophys. Symposium, Poprad, Czechoslovakia, 16 p.
- Bosschart, R.A., Pemberton, R.H., 1969, Application and limitations of airborne electromagnetic systems in mineral exploration: Mining in Canada, 16 p.
- Bosschart, R.A., Seigel, H.O., 1966, Some aspects of the TURAM electromagnetic method: Transactions, v. 69, p. 156 - 161.
- Bosum, W., 1970, An example of chromite prospecting by magnetics: Geophys. Prosp., v. 18, supp., p. 637 - 653.
- Bruckshaw, J.M., Kunaratnam, K., 1963, The interpretation of magnetic anomalies due to dykes: Geophys. Prosp., v. 11, n. 4, p. 509-522.
- Chastenot de Gery, J., Naudy, H., 1957, Sur l'interprétation des anomalies gravimétriques et magnétiques: Geophys. Prosp., v. 5, n. 4, p. 421 - 448.
- Cornille, P., 1970, Phase measurements of electromagnetic field components: Geophysics, v. 35, n. 5, p. 897 - 900.
- Dieter, K., Paterson, N.R., Grant, F.S., 1969, IP and resistivity type curves for three-dimensional bodies: Geophysics, v. 34, n. 4, p. 615-632.
- Dobrin, M.B., 1952, Introducción a la prospección geofísica: Omega, Barcelona, 483 p.
- Doig, R., 1968, The natural gamma-ray flux: insitu analysis: Geophysics, v. 33, n. 2, p. 311-328.
- Domzalski, W., 1966, Importance of aeromagnetism in evaluation of structural control of mineralization: Geophys. Prosp., v. 14, n. 3, p. 273-291.
- Fountain, D.K., 1968, The application of induced polarization method at Brenda Mines, British Columbia: CIM Bull., v. 61, p. 153 - 157.
- _____, 1968, Geophysics applied to the exploration and development of copper and molybdenum deposits in British Columbia: CIM Bull., v. 61, p. 1199 - 1206.
- _____, 1969, The use of geophysics in mineral exploration in the Northwestern United States and Southern British Columbia: Pacific Northwest Metals and Minerals Conference, Western Miner, v. 42, n. 10, p. 22-40.
- _____, 1972, Geophysical case histories of disseminated sulphide deposits in British Columbia: Geophysics, v. 37, n. 1, p. 142-159.
- Fraser, D.C., 1969, Contouring of VLF-EM data: Geophysics, v. 34, n. 6, p. 958 - 967.
- Geophysical Instrument and Supply Company, 1965, Fundamentals of selecting and using electrical prospecting equipment for mining geophysics: Geophysical Instrument and Supply Company, Denver, Colorado, 17 p.
- Grant, F.S., West, G.F., 1965, Interpretation theory in applied geophysics: McGraw Hill, New York, 584 p.
- Gupta, V.K., Fitzpatrick, M.M., 1971, Evaluation of terrain effects in magnetic surveys: Geophysics, v. 36, n. 3, p. 582 - 589.
- Gupta Sarma, D., Biswas, S.K., 1966, A portable proton precession magnetometer: Geophys. Prosp., v. 14, n. 3, p. 292 - 300.
- Hallof, P.G., 1960, Uses of induced polarization in mining exploration: Transactions, v. 217, p. 319 - 327.
- _____, 1961, Variable frequency induced polarization data compared with drilling results at four properties, cases 1 - 20: Northern Miner, 34 p.
- _____, 1963, A study of the usefulness of the various parameters employed in the variable frequency IP method: Annual General Meeting, SEG, New Orleans, 12 p.
- _____, 1964, A comparison of the various parameters employed in the variable-frequency induced polarization: Geophysics, v. 29, n. 3, p. 425 - 433.
- _____, 1965, The proper choice of frequencies for induced polarization measurements: Annual General Meeting, SEG, Texas, 15 p.
- _____, 1966, The use of the induced polarization method to find ore under Lake Chibougamau: Canadian Mining and Metallurgical Bull., 5 p.
- _____, 1966, Induced Polarization gains popularity as field tool, cases 21 - 30: Northern Miner, 3 p.
- _____, 1967, The use of induced polarization measurements to locate massive sulphide mineralization in environments in which EM methods fail: Canadian Centennial Conference on Mining and Groundwater Geophysics, Ontario, 21 p.
- _____, 1967, An appraisal of the variable frequency IP method after twelve years of application: Symposium on Induced Polarization, Univ. of California, Berkeley, 13 p.
- _____, 1968, The use of geophysics to locate sulphide mineralization at depth: XX Int. Geol. Congress, Prague, Czechoslovakia, 11 p.
- Hallof, P.G., Schults, R., Bell, A., 1962, Induced polarization and geological investigation on the Ballyvergin copper deposit: Transactions, v. 223, p. 312 - 318.
- Hallof, P.G., Winniski, E., 1971, A geophysical case

- history of the Lakeshore ore body: *Geophysics*, v. 36, n. 6, p. 1232 - 1249.
- Hedestrom, E.H., 1937, Phase measurements in electrical prospecting : AIME, Techn, Publ. n. 187, Class L, *Geophys. Prosp.*, n. 50, 19 p.
- Hedestrom, E.H., Parasnis, D.S., 1959, Some model experiments relating to electromagnetic prospecting with special reference to airborne work: *Geophys. Prosp.*, v. 7, n.4, p. 322-341.
- Henderson, R.G., Zietz, I., 1967, The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields: in *Mining Geophysics*, SEG, tomo II, p. 606 - 620.
- Hendrick, D.M., Fountain, D.K., 1970, Induced polarization as an exploration tool, Noranda Area, Quebec: Annual General Meeting CIM, 15 p., 15 fig.
- Hohmann, G.W., Kintzinger, P.R., Van Voorhis, G.D., Ward, S.H., 1970, Evaluation of the measurements of induced electrical polarization with an inductive system: *Geophysics*, v. 35, n. 5, p. 901 - 915.
- Hood, P., McClure, D.J., 1965, Gradient measurements in ground magnetic prospecting: *Geophysics*, v. 30, n. 3, p. 403 - 410.
- Jakosky, J.J., 1950, *Exploration geophysics*: Toija Publish., California, 1195 p.
- Jensen, H., 1961, The airborne magnetometer: *Scientific American*, v. 204, n. 6, p. 151 - 162.
- Julio, M., 1971, Anexo estudio geofísico de la Mina El Sauce, Comuna de Cabildo, Departamento de Petorca, Provincia de Aconcagua: Inf. Inéd. IIG., 7 p., 6 fig.
- _____, 1972, Estudio magnético El Salado 10, El Salado, Atacama: Inf. Inéd. IIG, 9 p., 7 fig.
- _____, 1972, Prospección radiométrica en la zona de El Abra, Provincia de Antofagasta: Inf. Inéd. IIG, 7 p., 5 fig.
- _____, 1972, Estudio geofísico Cerro Colorado, Iquique, Provincia de Tarapacá: Inf. Inéd. IIG, 22 p., 18 fig.
- Julio, M., Silva, L., 1972, Prospecciones geofísicas en Tres Puntas, Buena Esperanza y Punta Blanca, Departamento de Tocopilla, Provincia de Antofagasta: Inf. Inéd. IIG, 16 p., 12 fig., 3 planos.
- Keller, G.V., Fricknecht, F.C., 1966, *Electrical methods in geophysical prospecting*: Pergamon Press, London, 519 p.
- Ketola, M., 1972, Some point of view concerning mise - a - la - masse measurements: *Geophysical exploration*, v. 10, n. 1, p. 1 - 21.
- Klein, J., Seigel, H.O., 1969, Report on geophysical surveys exploration, Reservation 45: Inf. Inéd. Scintrex, 59 p., 15 fig., 9 planos.
- Kleinkopf, M.D., Peterson, D.L., Gott, G., 1970, Geophysical studies of the Cripple Creek mining district, Colorado: *Geophysics*, v. 35, n. 3, p. 490 - 500.
- Lilley, F.E., 1968, Optimum direction of survey lines: *Geophysics*, v. 33, n. 2, p. 329 - 336.
- Lindgren, W., 1933, *Mineral deposits*: McGraw Hill, New York, 920 p.
- McPhar Geophysics Limited, 1967, A geophysical case history: Canadian Centennial Conference on Mining and Groundwater Geophysics, Ontario, 14 p., 21 fig.
- Meidav, T.S., 1970, Arrays and nomograms for electrical resistivity exploration: *Geophys. Prosp.* v. 18, n. 4, p. 550 - 563.
- Meinardus, H., 1967, Estudio geoelectrico en la cuenca de Santiago, Perfil el Paico: Inf. Inéd. IIG. 10 p., 9 fig.
- Meinardus, H., Rivera, A., 1968, Estudio de polarización inducida en el yacimiento "Los Pelambres", Provincia de Coquimbo: Inf. Inéd. IIG, 10 p., 7 fig.
- _____, 1968, Estudio de polarización inducida en los yacimientos "La Planada y Queen Elizabeth", Provincia de Tarapacá: Inf. Inéd. IIG, 12 p., 14 fig.
- _____, 1969, II Estudio de polarización inducida en "Los Pelambres", Provincia de Coquimbo: Inf. Inéd. IIG, 3 p., 2 fig.
- Mongelli, F., Patella, D., 1971, About a method of representation of IP values obtained over sedimentary formation (two layer case): *Geophys. Prosp.*, v. 19, n. 4, p. 652 - 661.
- Nagata, T., 1961, *Rock magnetism*: Maruzen Co., Tokyo, 350 p.
- Naidu, P.S., 1968, An example of linear filtering in aeromagnetic interpretation: *Geophysics*, v. 33, n. 4, p. 602 - 612.
- Ortiz, F., Silva, L., 1967, Informe geológico y geofísico, distrito de Punta del Cobre entre Puntilla de Bateas y Quebrada Meléndez, Provincia de Atacama: Inf. Inéd. IIG, 52 p., 5 fig., 2 planos.
- Parasnis, D.S., 1956, The electrical resistivity of some sulphide and oxide minerals and their ores: *Geophys. Prosp.*, v. 4, n. 3, p. 249 - 278.
- _____, 1967, Three dimensional electric mise - a - la masse survey of an irregular lead-zinc - copper deposit in Central Sweden: *Geophys. Prosp.*, v. 15, n. 3, p. 407 - 437.

- Parasnis, D.S., 1970, An elegant, universal nomenclature for electromagnetic moving source-receiver dipole configurations : *Geophys. Prosp.* v. 18, n. 1, p. 88 - 102.
- Parker Gay, S., 1971, Morphological study of geophysical maps by viewing in three dimensions: *Geophysics*, v. 36, n. 2, p. 396 - 414.
- Paterson, N.R., 1968, Developments in ground EM prospecting: *Canadian Mining Journal*, p. 106 - 110.
- Paul, M.K., 1965, Direct interpretation of self potential anomalies caused by inclined sheets of infinite horizontal extensions: *Geophysics*, v. 30, n. 3, p. 418 - 423.
- Pavez, J., 1972, Informe de la práctica profesional realizada en la División de Geofísica del Instituto de Investigaciones Geológicas: Inf. Inéd. IIG, 23 p., 2 fig., 4 fotos.
- Pelton, W.H., Hallof, P.G., 1971, The applied potential method in the search for massive sulphides at York Harbour, New Foundland: Annual Meeting AIME, New York, 5 p., 10 fig.
- Pemberton, R.H., 1962, Airborne electromagnetics in review: *Geophysics*, v. 27, n. 5, p. 691 - 713, 16 fig.
- Pickett, G.R., 1970, Applications for bore hole geophysics in geophysical exploration: *Geophyaixa*, v. 35, n. 1, p. 81 - 92.
- Pimstein, C., Silva, L., 1972, Prospecciones geofísicas en el área de la Mina La Africana: Inf. Inéd. IIG, 16 p., 11 fig.
- Rivera, A., 1968, Estudio de polarización inducida en el yacimiento minero Rosario de Rengo: Inf. Inéd. IIG, 6 p., 7 fig.
- , 1969, Estudio geofísico en Mina Farellón, Provincia de Coquimbo: Inf. Inéd. IIG, 8 p., 10 fig.
- , 1969, Estudio de polarización inducida en la zona de Los Loros, Provincia de Coquimbo: Inf. Inéd. IIG, 7 p., 7 fig.
- , 1969, Informe sobre estudio complementario de polarización inducida en la zona de Los Loros, Provincia de Coquimbo: Inf. Inéd., IIG, 6 p., 8 fig.
- , 1970, Aplicación del método geofísico de polarización inducida en exploración minera: Memoria, Esc. Ing. Ind., Univ. Técnica del Estado, Santiago, 107 p.
- , 1971, Estudio de polarización inducida en Mina Teresa de Colmo: Inf. Inéd. IIG, 4 p., 4 fig.
- Rivera, A., Silva, L., Egert, E., Espinosa, W., 1970, Estudio geológico y geofísico de la Mina El Sauce, Comuna de Cabildo, Departamento de Petorca, Provincia de Aconcagua: Inf. Inéd. IIG, 30 p., 31 fig., 3 planos.
- Seigel, H.O., 1962, Induced polarization and its role in mineral exploration: *Transactions*, v. 65, p. 151 - 158.
- , 1970, Induced polarization method: *Mining in Canada*, 13 p.
- , 1972, Método de polarización inducida. (Adaptación al castellano L. Silva): Manual IIG, n. 2, 42 p.
- Seigel, H.O., Hill, H.L., Baird, J.G., 1968, Discovery case history of the Pyramid ore bodies, Pine Point, Northwest Territories, Canada, *Geophysics*, v. 33, n. 4, p. 645 - 656.
- Silva, L., 1961, Estudio geofísico de las anomalías aeromagnéticas de Boquerón Chañar, Provincia de Atacama: Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, 23 p., 21 fig., 1 plano.
- , 1962, Estudios geofísicos en la provincia de Atacama: Memoria, Esc. Ing., Fac. CFM, Univ. Chile, 83 p.
- , 1964, Geophysical prospecting Los Mantos de Punitaqui: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 16 - 35, 19 fig. 3 planos.
- , 1964, Estudio geofísico en Andacollo, pertenencias Churque, Enami, Provincia de Coquimbo: Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, 9 p., 8 fig.
- , 1964, Geophysical Survey in the Illapel Area: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 47 - 57.
- , 1964, Vaca Muerta Mine: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 65 - 76, 2 fig., 3 planos.
- , 1964, Farellón Vásquez Mine: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 77 - 93, 3 fig. 2 planos.
- , 1964, Porvenir Mine: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 94 - 102, 4 fig.
- , 1964, Farellón Sánchez Mine: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 116 - 121, 1 plano.
- , 1964, Portezuelo Mine: in *Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys*, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 122 - 130,

- 2 fig.
- Silva, R., L., 1965, Electromagnetic prospecting at Violeta Mine, Caimanes Area: en Geophysical Reports on the Coquimbo Province Surveys, Inf. Inéd. Proyecto Minero NU, p. 134 - 138, 3 fig.
- _____, 1965, Estudio geoelectrico de los son-
dajes de Boquerón Chañar, Provincia de Ata-
cama: Inf. Inéd. IIG, 9 p., 4 fig.
- _____, 1966, Estudio geofísico Las Cuevas: Inf.
Inéd. IIG, 6 p., 5 fig.
- _____, 1966, Estudio geofísico Mahuilque, Pro-
vincia de Arauco: Inf. Inéd. IIG, 18 p.,
17 fig., 2 planos.
- _____, 1966, Estudio geofísico Primavera de
Cuncumén, Salamanca, Provincia de Co-
quimbo: Inf. Inéd. IIG, 13 p., 9 fig.,
4 anexos.
- _____, 1966, La geofísica como herramienta
de prospección minera: Minerales, Inst. Ing.
Minas Ch., año 21, n. 93, p. 19 - 26, 6 fig.
- _____, 1966, Estudio geofísico Las Chivas -
Lago Negro, Lago General Carrera, Aysén:
Inf., Inéd. IIG, 28 p., 9 fig., 9 planos.
- _____, 1967, Estudio de polarización inducida
en el distrito minero Los Mantos Portales, El
Ñilhue, Provincia de Aconcagua: Inf. Inéd.
IIG, 11 p., 12 fig., 1 plano.
- _____, 1968, Induced polarization instrument
design, geophysical research: Colorado School
of Mines, Colorado, 15 p., 16 fig.
- _____, 1969, Two - layer master curves electro-
magnetic sounding: Thesis Master Sc., Colo-
rado School of Mines, Golden Colorado,
80 p.
- _____, 1969, Estudio geofísico del distrito mi-
nero de Chimberos, Provincia de Atacama:
Inf. Inéd, IIG, 19 p., 11 fig.
- _____, 1969, Estudio geofísico yacimiento Al-
godones: Inf. Inéd. IIG, 1 plano.
- _____, 1970, Prospecciones radiométricas en
el área de Domeyko, Provincia de Atacama:
Inf. Inéd. IIG, 5 p., 7 fig.
- _____, 1970, Prospecciones geofísicas en el á-
rea de Domeyko, Atacama: Inf. Inéd. IIG,
27 p., 18 fig.
- _____, 1970, Extensión del estudio geofísico
del distrito Punta del Cobre, Provincia de
Atacama: Inf. Inéd. IIG, 11 p., 6 fig.
- _____, 1971, Estudio geofísico de polarización
inducida en zona de alteración Tignamar,
Provincia de Tarapacá: Inf. Inéd. IIG, 8 p.,
7 fig., 1 plano.
- _____, 1971, Estudio geofísico de polarización
inducida en Mina Perico, Departamento de
Iquique, Tarapacá: Inf. Inéd. IIG, 6 p., 2 fig.
- _____, 1972, Estudio geofísico Mina San Oscar,
Huara Departamento Iquique, Tarapacá: Inf.
Inéd. IIG, 5 p., 5 fig.
- _____, 1972, Estudio de polarización inducida
Mina Tigre, Iquique, Tarapacá: Inf. Inéd.
IIG, 8 p., 7 fig.
- _____, 1972, Levantamiento aeromagnético Lo
Prado, Santiago: Inf. Inéd. IIG, 35 p., 8 fig.,
10 planos.
- Silva, L., Maranzana, F., Llaumet, C., Galay, I., 1970,
Estudio geofísico y geológico de las áreas:
Japonesa, Perlita y Nueva Brillador: Inf.
Inéd. IIG, 19 p., 12 fig., 6 planos.
- Society of Exploration Geophysicists: 1966, Mining
Geophysics: SEG, Wisconsin, tomo I - II.
- Spetor, A., Bhattacharyya, B.K., 1966, Energy dens-
ity spectrum and autocorrelation function
of anomalies due to a simple magnetic mod-
els: Geophys. Prosp., v. 14, n. 3, p. 242 -
272.
- Steenland, N.C., 1970, Recent developments in aero-
magnetic methods: Geoexploration, v. 8,
n. 3 y 4, p. 185 - 204.
- Sumi, F., 1965, Prospecting for non-metallic minerals
by induced polarization: Geophys. Prosp.,
v. 13, n. 4, p. 603 - 616.
- Sutherland, D.B., 1968, AFMAG for electromagnetic
mapping : Preprint, Canadian Centennial
Conference on Mining and Groundwater,
Ontario, 14 p.
- Thomas, H., 1958, Geología de la Cordillera de la
Costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta
de Barriga: Bol. IIG, n. 2, 86 p., 2 mapas.
- Tornqvist, G., Bosschart, R.A., 1958, Some recent
results of geoelectrical prospecting in Swe-
den: Geophys. Prosp., v. 6, n. 2, p. 112-123.
- Vacquier, V., Steenland, N., et al., 1963, Interpreta-
tion of aeromagnetic maps: Mem. GSA,
n. 47, 151 p.
- Wagg, D., Seigel, H.O., 1963, Induced polarization
in drill holes: Canadian Mining Journal, 7 p.
- Ward, S.H., O'Brien, D.P., Parry, J.R., McKnight, B.
K., 1968, AFMAG interpretation: Geophy-
sics, v. 33, n. 4, p. 621 - 644.
- Wuenschel, P.C., et al., 1969, Geophysical research
and progress in exploration, 1965 - 1968:
Geophysics, v. 34, n. 2, p. 145 - 154.