



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**Estudio Geoeléctrico del Area Azteca-Zapoteca
Municipio Guachinango, Jal.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO GEOFISICO
P R E S E N T A :
Julio Pérez Aldana



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE DE LAMINAS

- Làmina 1 Plano de localizaciòn del àrea estudiada
- Làmina 2 Plano Geològico Regional mostrando el Bloque hundido -
de Pànico
- Làmina 3 Plano de Perfiles de Cargabilidad
- Làmina 4 Plano de Configuraciòn de Cargabilidad
- Làmina 5 Plano de Perfiles de Resistividad
- Làmina 6 Plano de Configuraciòn de Resistividad
- Làmina 7 Plano de Gràficas Electromagnèticas Turam SE-77
- Làmina 8 Plano de Integraciòn de Anomalias de PI, Resistividad-
y Turam

C O N T E N I D O

Página

Prólogo

Resumen

I.- GENERALIDADES	1
I.1. Antecedentes	1
I.2. Objetivos	2
I.3. Localización y Vías de Acceso	3
I.4. Clima y Vegetación	3
I.5. Cultura y Economía	4
II.- GEOLOGIA GENERAL	5
II.1. Fisiografía	5
II.2. Geomorfología	6
II.3. Litología	6
II.4. Geología Estructural	9
II.5. Yacimientos Minerales	10

III.- ESTUDIO GEOELECTRICO	12
III.1. Polarización Inducida	13
III.1.1. Aspectos Teóricos	13
III.1.1.1. Fenòmeno de Polarización Inducida	13
III.1.1.2. Origen de la Polarización Inducida	15
III.1.1.3. Parámetros de medición del efecto de PI	18
a) Mediciones en el dominio del tiempo	19
b) Mediciones en el dominio de las	
frecuencias	23
c) Mediciones del ángulo de fase .	27
III.1.1.4. Factores que afectan a las mediciones	
de PI	30
III.1.2. Dispositivos de electrodos	38
III.1.3. Interpretación	41
III.1.4. Equipo empleado	55
III.1.5. Trabajos realizados	58
III.1.6. Resultados obtenidos	61
III.2. Resistividad	64
III.2.1. Aspectos teóricos	64
III.2.2. Trabajos realizados	77
III.2.3. Resultados Obtenidos	77

	Página
III.3. Método Turam	79
III.3.1. Aspectos teóricos	79
III.3.1.1. Fundamentos	79
III.3.1.2. Transmisores	80
III.3.2. Procesamiento y presentación de datos	81
III.3.3. Interpretación	84
III.3.4. Equipo empleado	88
III.3.5. Trabajos realizados	89
III.3.6. Resultados obtenidos	89
IV.- INTEGRACION DE DATOS	92
IV.1. Integración de la información	92
IV.2. Conclusiones	109
IV.3. Recomendaciones	111

Bibliografía

PROLOGO

El crecimiento industrial de México requiere en mayor grado - de materias primas, principalmente minerales.

La explotación de este recurso natural data desde tiempos de la Colonia, por lo que, hoy en día, la existencia de yacimientos - minerales que afloran se ha agotado. Actualmente, la exploración - se enfoca hacia yacimientos que no afloran, o bien, que su localización es muy difícil, por lo que el empleo de métodos geofísicos - de exploración cada día tiene más auge, ya que con estas técnicas - indirectas, es posible explorar grandes extensiones de terreno y - además inferir la presencia de yacimientos minerales que están cubiertos.

Este trabajo trata de presentar un panorama de la metodología empleada en la exploración geofísica-minera con los métodos geoelectrónicos y de los criterios que se adoptan; desde luego, estos -- conceptos no son generales, ya que cada caso tiene una solución -- particular.

La exploración geofísica efectuada se desarrolló con los métodos geoelectrónicos de Polarización Inducida (PI), Resistividad y Tu ram, empleando como método base el método de PI.

RESUMEN

De acuerdo a los estudios geológico-mineros realizados por el Consejo de Recursos Minerales en el àrea Azteca-Zapoteca, perteneciente al Municipio de Guachinango, Jal., se estimò conveniente aplicar los mètodos geofísicos de Polarización Inducida, Resistividad y Turam.

El objetivo geofísico fue localizar la continuaciòn de las vetas que afloran en algunos tramos como Azteca, Zapoteca, Tòrtolas, Gloria, etc., así como otras estructuras que no se observan e inferir a lo largo de las mismas, las zonas de mayor concentraciòn de sulfuros polarizables y conductores.

Las estructuras mineralizadas se encuentran emplazadas en rocas volcànicas de tipo andesítico y se piensa que el origen de los yacimientos minerales es hidrotermal, teniendo como minerales de mena Oro y Plata.

Las descripciones de los mètodos geoeleètricos aplicados en este estudio, se desarrollan por separado en forma general, desde sus orìgenes hasta su interpretaciòn y presentaciòn de los datos obtenidos en el campo, siendo el mètodo base el de Polarización Inducida.

Se logró demostrar la gran utilidad que tienen los métodos geoelectricos en la exploracion minera, ya que, por medio de estos, se interpretaron estructuras de tipo tabular con su rumbo general, cambios locales de tendencia (o rumbo), longitud, distribucion de sulfuros (o sea, en forma diseminada, masiva o ambos), desplazamientos verticales y horizontales ocasionados por fallas.

Se recomienda efectuar un levantamiento geofisico de detalle - con arreglos Bloques, Semigradientes multiples (Komarov) sobre las principales trazas, con el objeto de determinar (en donde las condiciones geologicas lo permitan) potencia, echado, zonas de mayor contenido de sulfuros, etc., en las vetas.

I.- GENERALIDADES

En este capítulo se presentan los antecedentes y objetivos del área estudiada, así como también su localización y acceso, y un bosquejo general del clima, vegetación, cultura y economía de la región de interés.

I.1. Antecedentes

El Consejo de Recursos Minerales, por medio del Proyecto Asignaciones Jalisco, se encuentra efectuando estudios geológico-mineros en el área "Azteca-Zapoteca", en el municipio de Guachinango, Jalisco. Estos estudios han manifestado la existencia de estructuras mineralizadas como son las vetas: Azteca, Zapoteca, Gloria, Felipe, Tòrtolas, etc.

Las estructuras Azteca y Zapoteca corresponden superficialmente con zonas de oxidación, presentando valores atractivos de oro; la veta Gloria se manifiesta con características similares a las anteriores. Las vetas Felipe y Tòrtolas se presentan con poca potencia pero bien definidas, observándose superficialmente sulfuros de Plomo y Zinc.

La roca encajonante es ígnea y va de intermedia a extrusiva de

tipo andesítico; se observa, además, en el extremo Este del área estudiada con métodos geofísicos, algunos afloramientos de intrusivos.

I.2. Objetivos

El objetivo geológico fue la localización de estructuras con contenido de minerales polimetálicos (oro, plata, plomo, zinc, etc) así como también conocer su longitud, potencia y tipo de leyes para llevar a efecto su explotación económica.

En el aspecto geofísico, y de acuerdo a que las estructuras conocidas en esta área no afloran en su mayor parte, uno de los objetivos fue conocer la extensión longitudinal de las estructuras (vetas), así como detectar otras nuevas no aflorantes e inferir a lo largo de las mismas las zonas de mayor concentración de sulfuros polarizables y conductores como: galena, pirita, calcopirita, argentita, etc.

La finalidad de este trabajo es demostrar la utilidad y correlación de los métodos Geoeléctricos aplicados en la exploración de yacimientos minerales en el área "Azteca-Zapoteca".

I.3. Localización y Vías de Acceso

El área de estudio se localiza al poniente de la Ciudad de Guadalajara, Jal., en el borde que forma la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico, entre la latitud Norte $20^{\circ} 36' 56''$ y longitud Oeste de $104^{\circ} 28' 00''$, cubriendo un área total de 255 Has.

El acceso a la zona de estudio se realiza partiendo de la Cd. de Guadalajara a la Cd. de Ameca, por la carretera estatal No. 15, en un recorrido de 76 Km., en carretera transitable todo el año; de Ameca a Guachinango en un trayecto de 50 Km., y de Guachinango al Ejido Pánico por terracería con desarrollo de 15 Km. (lámina 1). El acceso hasta Guachinango es bueno, dificultándose hasta Pánico, el cual, en tiempo de lluvias queda parcialmente incomunicado.

I.4. Clima y Vegetación

El clima del área en cuestión es semi-seco, con invierno seco y semicálido, sin cambio térmico invernal bien definido. Su temperatura media anual alcanza un promedio de 21°C , registrando como extremas una temperatura máxima de 36°C y una mínima de 6°C . La precipitación pluvial anual es de 760 mm.

La vegetación es variada, encontrándose especies de pino, ro--

ble, encino y chaparrales, principalmente.

I.4. Cultura y Economía

El centro de población más cercano al área de estudio es Guachinango. Siendo ésta la cabecera del municipio cuenta con 2,900 habitantes y algunos servicios públicos, como son agua potable, electricidad, correo, telégrafo, radiocomunicación, escuela primaria y secundaria y una línea de camiones que lo comunica con la ciudad de Ameca.

El poblado de Pánico, lugar en donde se encuentra el área de trabajo, tiene una población aproximada de 250 habitantes, formada principalmente por ejidatarios y comuneros. Cuenta con una escuela primaria rural hasta segundo grado; no cuenta con servicios públicos.

En el aspecto económico, la principal fuente de ingresos la constituye la agricultura, ganadería y minería. La agricultura está basada en la explotación de maíz, frijol, calabaza. La ganadería la constituyen, en orden de abundancia, el ganado caprino, bovino y porcino. La actividad minera es otra fuente de ingresos en el poblado.

II.- GEOLOGIA GENERAL

En el àrea de estudio se observan rocas volcànicas de tipo an desítico en las cuales estàn emplazadas las estructuras mineralizada das; se observan circundando a estas rocas algunos intrusivos de - tipo granodiorítico. Se piensa que el origen de los yacimientos - minerales es hidrotermal de mediana temperatura, teniendo como mi- nerales de mena plata y principalmente oro.

II.1) Fisiografía

La zona de estudio, regionalmente y de acuerdo con la clasifi- caciòn de Provincias Fisiogràficas de Erwin Raisz (1959), se en- - cuentra dentro de la provincia del Eje Neovolcànico, que se carac- teriza principalmente por la presencia tanto de rocas volcànicas - de composiciòn bàsica e intermedia, como por los conos volcànicos- de edades cuaternarias muy abundantes en la zona. De acuerdo a la situaciòn geogràfica de la regiòn, es probable que en èsta exista- una interconexiòn o transiciòn de esta provincia con la de la Sie- rra Madre Occidental, evidenciando èsto por la presencia de las ro- cas de composiciòn àcida, las cuales se observan hacia los extre- mos de la zona.

II.2) Geomorfología

En este aspecto, el área se puede considerar dentro del ciclo de juventud, evidenciada por su topografía muy abrupta y su patrón de drenaje principalmente de tipo dendrítico, que eventualmente -- cambia a subparalelo, controlado este último por las estructuras -- presentes.

Es común en el área la presencia de un rasgo morfológico en forma de mesas, debido a derrames volcánicos de tipo basáltico, -- los que culminan las partes altas de las Sierras.

Se puede considerar que la región se encuentra en una etapa de levantamiento generalizado, ya que el régimen de las corrientes es casi totalmente de aguas broncas y cauces jóvenes de tipo V, -- con distancias muy cortas entre su nacimiento y su desembocadura -- hacia otros afluentes que a su vez descargan sus aguas en las del Río Atenguillo, que es la principal corriente fluvial del área de estudio.

II.3) Litología

El área de Pánico se encuentra integrada por una variedad de rocas volcánicas que van de ácidas a básicas, pasando por rocas de

composición intermedia, las cuales son las más abundantes. Existen, además, manifestaciones de tipo plutónico, formando pequeños apófisis como el cerro "El Barqueño". Debido a la erosión muy marcada y su levantamiento constante, no son muy amplios los depósitos de edades recientes. Se describen, a continuación, las unidades de rocas que afloran en el área, definiéndose de las más jóvenes a las más antiguas.

Aluviòn.- Se encuentra constituido por cantos rodados, gravas, arenas y limos; se encuentran depositados hacia las márgenes de los arroyos.

Depósitos Residuales.- Afloran en las partes más o menos altas y planas del área, en donde no hay flujo de corrientes y son resultado de alteración meteórica superficial de las rocas.

Basalto.- Se trata de rocas de color gris oscuro, que a veces son compactas y otras vesiculares o amigdaloides; existe la presencia de carbonatos rellenando a estas estructuras primarias.

Pòrfido Diorítico.- Este se clasifica como una roca de textura porfídica y composición diorítica; su color es gris oscuro y es sumamente compacto. Se les puede observar claramente cristales

de hornblenda. A estas rocas se les asocia íntimamente brechas de milonitización sumamente silicificados; siendo probable que estas rocas sean producto de magmas que se enfriaron a profundidades relativamente someras y que, en la actualidad, representan un apòfisis de intrusivo a profundidad. Se puede suponer que a causa de la intrusión de estos magmas se produjeron las soluciones mineralizantes que fueron a alojarse a las rocas que actualmente presentan importancia económica.

Tobas Andesíticas.- Esta unidad tiene variaciones hacia tobas andesíticas alteradas y tobas brechoides de la misma composición y coloración verdosa. Se trata de materiales de textura tobàcea, matriz arenosa y fragmentos redondeados de andesitas. La coloración de esta unidad varía de acuerdo al grado de alteración que presente, desde colores grises claros, pasando por verde olivo cuando estas se encuentran cloritizadas, y rojo violàceo, las cuales son sumamente deleznables. Desde el punto de vista mineralògico, las zonas que presentan alteración dentro de esta unidad, son las que posiblemente presenten mayores probabilidades de contener mineralización.

Aglomerados.- Se trata de rocas de color gris oscuro de composición andesítica, con abundancia de fragmentos redondeados de la-

misma naturaleza de la matriz, su apariencia se mantiene constante y a veces se hace brechoide, es sumamente compacta y dura, aunque fracturada; la dureza puede ser a causa de procesos de silicificación.

Andesitas.- Afloran en los alrededores del cerro "El Barqueño" y en las partes bajas sobre el Río Atenguillo y en los arroyos del área. Se presenta en forma masiva; sus contactos son graduales; - presenta relieve de moderado a fuerte, ocasionado por el cuerpo -- que lo intrusióna.

La andesita tiene un color generalmente verdoso en muestra -- fresca, estructura compacta y textura fanerítica compuesta de plagioclasas y máficos, además se observa cuarzo. Se distinguen minerales ferromagnesianos y óxidos. El tamaño del grano va de medio-a fino (equigranular).

II.4) Geología Estructural

Dentro del análisis estructural se observan a nivel regional- una serie de chimeneas volcánicas alrededor de Pánico (Cerro del - Timbe), pudiendo observarse en el Cerro del Barqueño que esta zona se encuentra afectada por un fracturamiento y fallamiento normal - el cual ha dado lugar a la formación de Bloques (Horst) con despla

zamiento en escalonamiento.

La zona de Pànico, lugar donde se encuentran las estructuras-Azteca y Zapoteca, se encuentra bien definida por dos elementos -- tectònicos fuertes, que son la falla de Pànico y la falla de Pachuca (lâmina 2) las cuales dieron lugar a la forma de un graben (grauben de Pànico).

Este efecto tectònico dio lugar a que las estructuras trans--portadas por el bloque caído, se fracturaran intensamente ocasionando cuerpos brechados y dislocados; posteriores reacomodamientos provocaron fallamientos de menor intensidad, los cuales dislocaron aún más los cuerpos brechados.

II.5) Yacimientos Minerales

La mineralizaciòn ocurriò en estructuras formadas por fallas y fracturas originadas por levantamientos y hundimientos, así como a la actividad volcànica debido a la orogenia Laramide, durante la que hubo formaciòn de zonas de horst y grabens, lo cual ocasionò - zonas de debilidad por donde ascendieron las soluciones minerali--zantes que formaron yacimientos minerales.

Los afloramientos de estructuras mineralizadas son claros en-

superficie con una marcada alteración. Los yacimientos se clasificaron como hidrotermal-epitermal de rellenos de fisuras (veta-fallas) emplazados en rocas andesíticas principalmente. Las principales guías de prospección son la alteración, los intrusivos y el fallamiento. Las principales alteraciones del área son: Argilitización, Oxidación, Propilitización, Silicificación, Cloritización, etc.

Los principales minerales de importancia económica son:

- a) como minerales de mena: Oro y Plata
- b) como minerales de ganga: Galena, Blenda, Calcopirita, Pirita, etc.

III.- ESTUDIO GEOELECTRICO

Los métodos geoelectricos descritos en este capítulo son los de Polarización Inducida, Resistividad y Turam, siendo desarrollados éstos de la forma siguiente:

En Polarización Inducida se describe su fenómeno, su origen, así como los factores que lo afectan y sus parámetros de medición; de igual manera, se hace una breve descripción de los dispositivos empleados, la forma de interpretación de las anomalías, el equipo empleado, los trabajos realizados en el área de estudio y los resultados que se obtuvieron en base a este método.

La Resistividad se analiza de una forma más general, ya que se desarrolla en forma simultánea con el método de Polarización Inducida.

En el método de Turam se describen sus fundamentos, tipos de transmisores, cómo procesar, presentar e interpretar los datos; de igual forma, se describe el equipo que se utiliza, los trabajos que se efectuaron en el área de estudio y los resultados que se obtuvieron con este tipo de método.

III.1) Polarización Inducida

III.1.1) Aspectos Teóricos

III.1.1.1) Fenómeno de Polarización Inducida

En algunas rocas, cuando se aplica una corriente eléctrica -- continua y posteriormente se interrumpe abruptamente, el campo eléctrico no desaparece bruscamente, sino lentamente como se observa en la fig. 1.1, donde se advierte que incluso dos minutos después de haber interrumpido la corriente, se observa en el terreno un voltaje residual del orden de 0.5 a 1% del voltaje que existía cuando la corriente estaba circulando.

Este fenómeno de Polarización, ocasionado por el paso de corriente eléctrica, se conoce como Polarización Inducida (PI), también llamada sobretensión. En 1920, C. Schlumberger observó este fenómeno en la proximidad de yacimientos de sulfuros, pero también en zonas estériles, por lo que no prosiguió su estudio.

En los años 1932 a 1934, Weiss y Muller realizaron ensayos experimentales de aplicación del método, pero los resultados no fueron buenos por defecto del dispositivo empleado, que consistía en un solo par de electrodos.

Potencial Normal

mV
10

U_{ss}
5

U_{ss} = 214 mV

U_{ss} = 239 mV

0

1.0

2.0

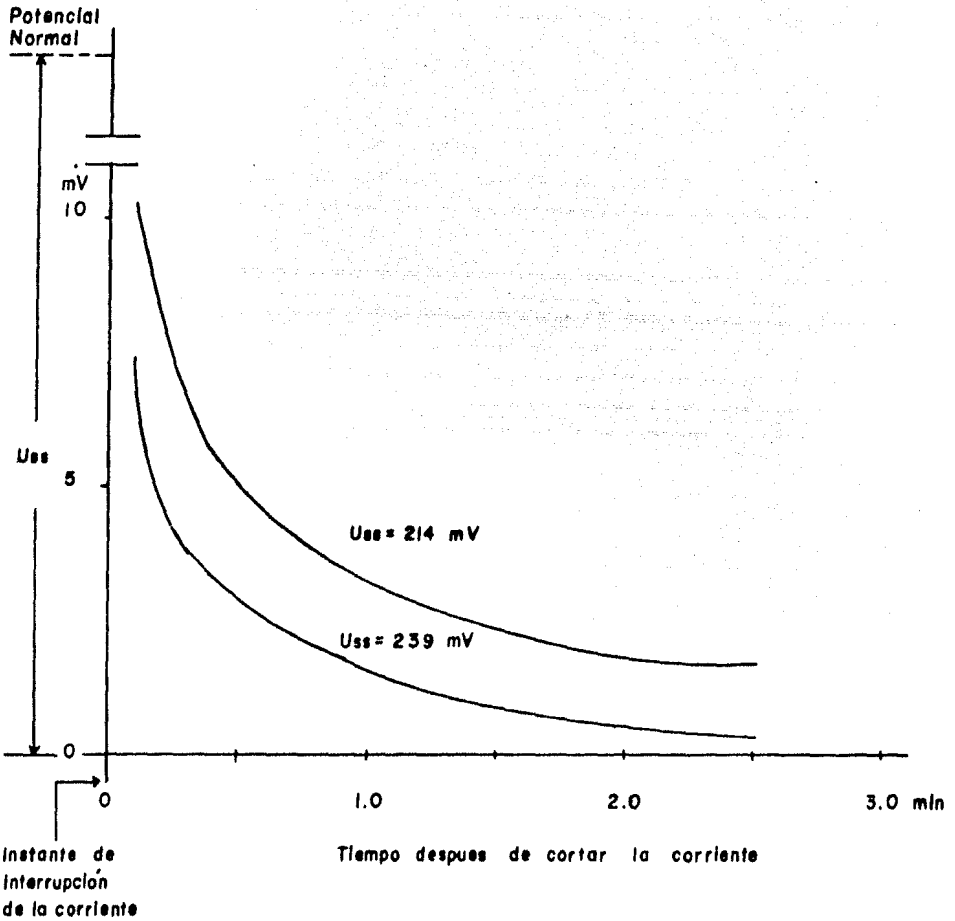
3.0 min

Instante de
interrupción
de la corriente

Tiempo despues de cortar la corriente

FIG. 1.1 CURVAS DE DECAIMIENTO DEL VOLTAJE RESIDUAL

(Geofísica Minera, D.S. PARASNIS)



En la Unión Soviética, en 1941 Dakhnov, aplicó la Polarización Inducida en registros eléctricos para pozos petroleros, obteniendo buenos resultados, pero la aplicación sistemática de este método en la exploración minera se origina con los trabajos de Harold O. Siegel (1947) y con las investigaciones llevadas a cabo por la compañía Newmont Exploration Ltd., dadas a conocer por Wait (1950). Independientemente, Bleil (1953), hizo ver la posibilidad de aplicar la Polarización Inducida para la detección de yacimientos de magnetita y de sulfuros.

El método de la Polarización Inducida ha ido adquiriendo mayor auge, según hace notar Komarov; en 1951 solamente se publicaron - seis artículos, de 1951 a 1955 diez artículos y de 1956 a 1960 algunos treinta y tres, pero a partir de 1961 a 1965 el número de artículos es mayor de 100. Año con año no solamente la cantidad de escritos sobre el tema ha aumentado, sino que rápidamente se extendió y se puso de moda, hasta el extremo que, según las estadísticas de la SEG, en la exploración geofísica el 33% de las prospecciones mineras expresadas en equipos-mes correspondían al método de PI, así como el 44.4% de los gastos, de lo que se deduce que es uno de los métodos geofísicos más desarrollados y más caros.

La aplicación del método de la Polarización Inducida se enfoca

a la localización de yacimientos de minerales conductores (principalmente de yacimientos de algunos sulfuros metálicos diseminados). Con este método es posible detectar la presencia de minerales conductores (polarizables) e inferir en algunas ocasiones; la forma en que se encuentran, buzamiento y su porcentaje en volumen.

III.1.1.2) Origen de la Polarización Inducida

Para una mejor comprensión del fenómeno de la Polarización Inducida se deben distinguir dos efectos principales: la Polarización de Electrodo y la Polarización de Membrana.

a) Polarización de Electrodo: la corriente eléctrica en el terreno es transportada normalmente por iones en los electrolitos presentes en los poros de la roca. Si el paso de estos iones queda obstruido por ciertas partículas minerales que, como los metales, transporten la corriente por electrones, las cargas iónicas se acumulan en el límite electrolito-partícula, las positivas donde la corriente penetra en la partícula y las negativas donde sale (fig. 1.2). Las cargas acumuladas crean una tensión que se opone al flujo de la corriente eléctrica a través de la superficie límite y entonces se dice que la partícula está polarizada. Cuando la corriente se interrumpe, queda un potencial residual a través de -

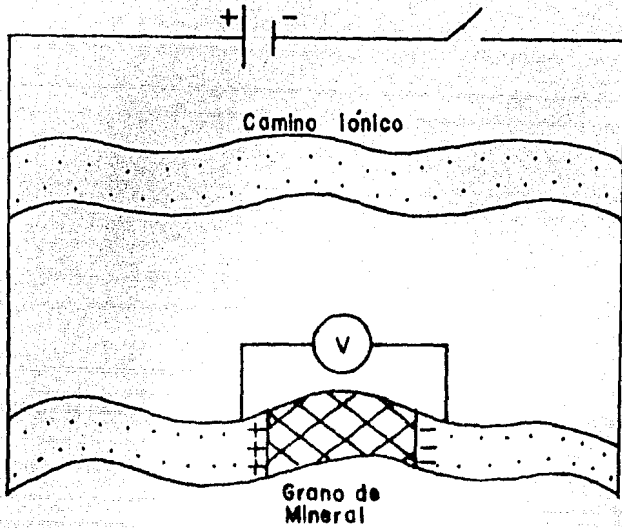


Fig. 1.2.- Fenòmeno de la Polarizaci3n de Electrodo
 en los contactos mineral-electrolitos.

la partícula debido a las cargas iónicas retenidas, el cual decrece continuamente al difundirse lentamente éstas en los electrolitos de los poros, proceso que da lugar al efecto de la Polarización Inducida.

Este tipo de polarización se llama "Polarización de Electrodo" porque se observa también en las electrólisis comunes, sobre la superficie de los electrodos metálicos sumergidos en un electrolito. Entre los minerales que producen fuerte efecto de PI destacan la pirita, la calcopirita, el grafito, la galena, la bornita, la magnetita y la pirolusita.

b) Polarización de Membrana: tiene su origen en la presencia de partículas de arcilla, y hay que recurrir a este tipo de polarización para poder explicar los efectos de PI que se observan cuando no existen en el terreno minerales de tipo metálico.

El resultado es que siempre se observa una sobretensión débil o efecto normal, sobre cuyo fondo destaca la polarización debida a sustancias metálicas, en el caso en que éstas existan en el subsuelo. El fenómeno parece ser debido a una diferencia de movilidad entre los aniones y los cationes, producida por la presencia de partículas de arcilla. Tales partículas se cargan negativamente, atrayendo una "nube catiónica" que permite el paso de los portadores positivos, pero no el de los negativos, ejerciendo el efecto de una membrana (fig. 1.3), produciéndose así gradientes de concentración que tardan en desaparecer un cierto tiempo después de suprimida la tensión exterior, y que originan por lo tanto una sobre-

tensión residual.

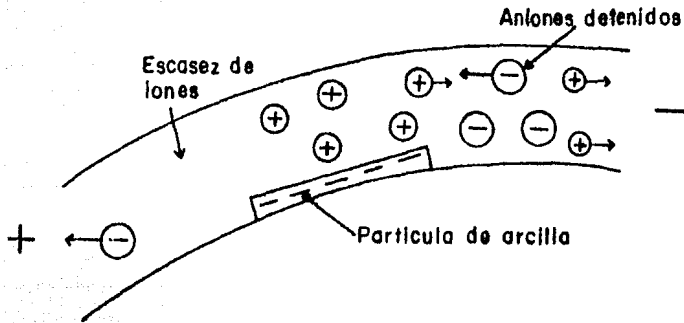


fig. 1.3.- Polarización de membrana, producida en un camino de pozos, con campo eléctrico exterior, por la presencia de una partícula de arcilla.

III.1.1.3) Parámetros de Medición del Efecto de P.I.

Existen varias modalidades para medir los efectos de Polarización Inducida y al mismo tiempo distintos parámetros utilizados en la descripción de los resultados de estas mediciones.

Las modalidades clásicas para medir el efecto de PI son: dominio de tiempo, dominio de frecuencia y fase. Algunos autores solamente consideran las dos primeras modalidades, incluyendo las mediciones del ángulo de fase dentro del dominio de frecuencias.

En todos los casos y al igual que en el método de Resistividad se pasa una corriente eléctrica a través del terreno por medio de dos puntos de contacto o electrodos de corriente y se mide el voltaje aparente (o caída de potencial en el terreno) entre dos puntos o electrodos de potencial.

a) Mediciones en el Dominio de Tiempo

En esta modalidad, se aplica una corriente directa pulsante al terreno a intervalos regulares de tiempo, observándose el voltaje de despolarización en los intervalos de tiempo cuando la corriente transmitida es cero. Los intervalos de tiempo de transmisión de corriente y de corriente cero, generalmente son de 2, 4 u 8 segundos, en equipos Scintrex.

1.- Cargabilidad (m)

La medida más simple del fenómeno de PI es la observación del voltaje después del cese abrupto de la corriente, pero no sería correcto el empleo de este valor, puesto que varía proporcionalmente a la tensión existente entre los electrodos de potencial mientras fluye corriente, por lo cual la amplitud de los voltajes residuales o de decaimiento deben ser normalizados con respecto a la tensión máxima del voltaje aplicado U_{ss} que existe inmediatamente antes de

la interrupción de la excitación, por lo que teóricamente la magnitud que se debería medir sería la relación (3.1) que el Dr. Seigeld denominó cargabilidad (fig. 1.4).

$$m = \frac{U_0}{U_{ss}} \quad - - - 3.1$$

U_0 = Tensión al instante en que desaparece la carga.

U_{ss} = Tensión de carga.

Como prácticamente es imposible medir U_0 debido a ruidos, se emplea la medida del voltaje de decaimiento a un instante determinado U_t después del corte de la corriente y la tensión excitadora U_{ss} .

La medición del voltaje de decaimiento U_t debe ser lo suficientemente retardada para que los efectos debidos a corrientes electromagnéticas secundarias inducidas en el terreno hayan desaparecido - pero también inmediatas, para que la tensión residual no haya caído por debajo de la sensibilidad del equipo. Los tiempos de muestreo o medición del voltaje de decaimiento se efectúan generalmente dentro de un intervalo de 0.1 seg. a 1 seg. después de haber interrumpido la corriente eléctrica.

La tensión residual U_t se mide generalmente en mV, mientras -- que la tensión aplicada o excitadora en volts.

$$m = \frac{U_t}{U_{ss}} \quad \frac{\text{milivolts}}{\text{volts}} \quad \text{---} \quad 3.2$$

Cuando se miden ambas tensiones en las mismas unidades, la relación de voltajes m se puede expresar en tanto por ciento; a este parámetro los Soviéticos lo denominan polarizabilidad y lo simbolizan por:

$$\eta = m \times 100 = \frac{U_t}{U_{ss}} \times 100 \quad \text{-----} \quad 3.3$$

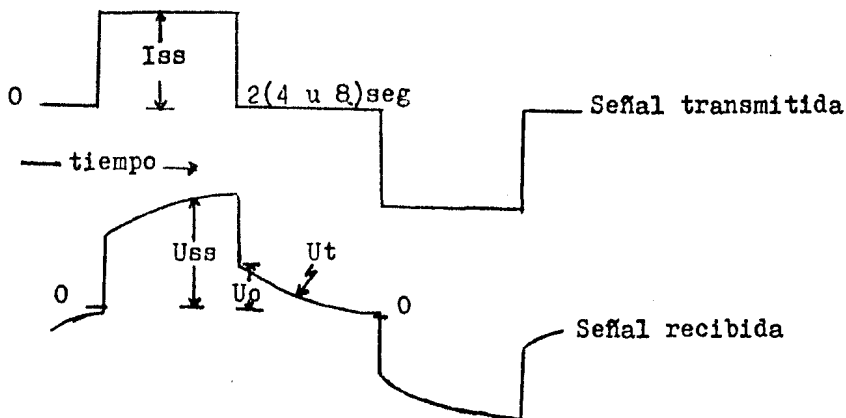


Fig. 1.4.- Formas de onda de la señal transmitida y recibida.

Al parámetro m obtenido por Seigel se le conoce también como -

cargabilidad teórica (K. Zonge, 1972).

2.- Cargabilidad (M), como integral de tiempo normalizada

Existe otra forma de obtener la cargabilidad mediante la integral de tiempo normalizada o el área bajo la curva del voltaje de decaimiento en un intervalo de tiempo. Este parámetro fue ideado para preservar en parte la información inherente a la forma de la curva del voltaje de decaimiento, que se pierde cuando se mide únicamente la tensión residual a un instante determinado.

Este parámetro se obtiene registrando la curva de decaimiento durante un intervalo de tiempo (t_1 y t_2) y se determina el área comprendida entre estos dos límites de tiempo (fig. 1.5 a) normalizando este valor por U_{ss} para obtener el valor de la cargabilidad absoluto:

$$M = \frac{1}{U_{ss}} \int_{t_1}^{t_2} U_t dt \quad \text{--- --- --- 3.4}$$

los resultados se expresan en:

$$M = \left[\frac{mV \times \text{seg}}{V} \right] = [m\text{-seg}]$$

si el tiempo de integración es muy corto, por ejemplo 0.1 seg., el área limitada por la curva de voltaje de decaimiento-tiempo es proporcional a la tensión media durante el intervalo, por lo tanto si la integral es muestreada durante un cierto número de intervalos -- cortos como 1 y 1.1, 2 y 2.1 ..., 10 y 10.1 segundos, etc. es posible reconstruir aproximadamente la forma de la curva de decaimiento (fig. 1.5b).

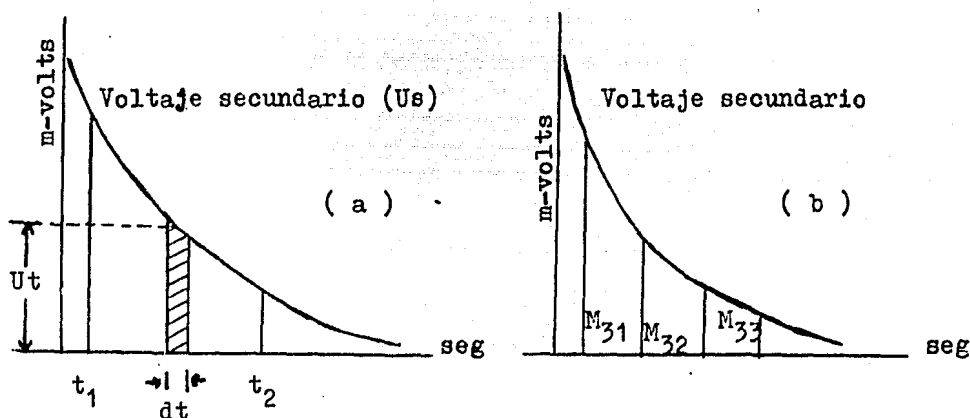


fig. 1.5.- Medición del efecto de PI como la integral de tiempo M , (a) en una sola integración y (b) - en tres fracciones.

b) Mediciones en el Dominio de Frecuencias

Las mediciones en esta modalidad se efectúan a dos frecuencias diferentes principalmente con una décima de diferencia. Las seña--

les aplicadas generalmente son de muy baja frecuencia (0.01 a 10 Hz) con el objeto de no introducir ruido en las mediciones debido a fenómenos electromagnéticos creados por la naturaleza variable de la corriente aplicada.

1.- Efecto de frecuencia (EF)

El efecto de polarización se detecta como una mayor caída de potencial en el terreno (medida en los electrodos potencial) al aumentar la frecuencia de la corriente aplicada.

En la fig. 1.6 se muestra esquemáticamente la forma de onda de la corriente transmitida al terreno. El parámetro medido es una relación de respuestas de voltajes en un estado continuo después de haberlos filtrado. El parámetro así obtenido se denominó efecto de frecuencia (EF) el cual es

$$EF = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \text{ - - - - - } 3.5$$

Cuando la corriente se mantiene a una amplitud poco constante pero se varía la frecuencia obtenemos:

$$EF = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} \text{ - - - - - } 3.6$$

donde ρ_2 y ρ_1 , son las respectivas magnitudes de la resistividad aparentes a las frecuencias 1 y 2. Las ecuaciones 3.5 y 3.6 son comuntemente expresadas como un por ciento de efecto de frecuencia.

$$PEF = EF \times 100 \text{ ----- } 3.7$$

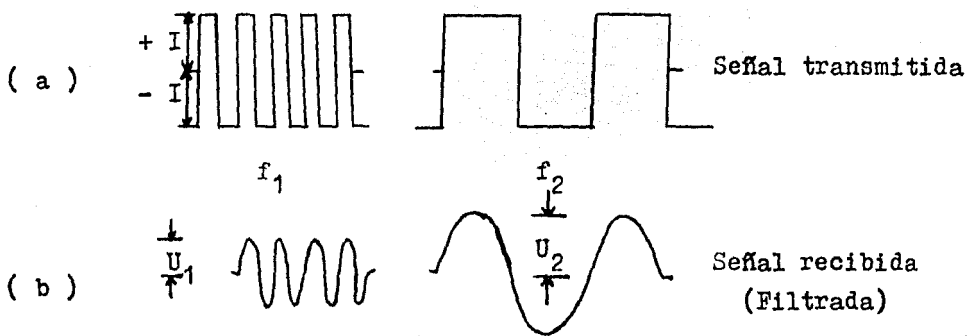


fig. 1.6.- Forma de onda en el dominio de frecuencias
 (a) Señal transmitida (b) Señal recibida

Teóricamente el EF debe ser la relación de la resistividad aparente obtenida como corriente continua (ρ_{cc}) y la resistividad a corriente alterna (ρ_{ca}).

$$EF = \frac{\rho_{cc} - \rho_{ca}}{\rho_{ca}} \text{ ----- } 3.8$$

2.- Factor metálico (FM)

La teoría de los efectos de la polarización inducida muestra -

que la Polarización Inducida está grandemente influenciada por la resistividad de los electrolitos o humedad de las rocas encajonantes y por lo tanto de la actividad tipo y temperatura de éstos. El parámetro denominado factor metálico (FM), ideado por Madden para corregir en parte la influencia de la resistividad de la roca encajonante. Se define simplemente como el efecto de frecuencia dividido por la resistividad aparente en corriente continua o de frecuencia muy baja. Sin embargo como el número así obtenido es muy pequeño y se acostumbra multiplicarlo arbitrariamente por ($2\pi \times 100,000$):

$$FM = \frac{\rho_{cc} - \rho_{ca}}{\rho_{cc} \times \rho_{ca}} \times 2\pi \times 10^5 \text{ - - - - - } 3.9 \text{ (a)}$$

δ

$$FM = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 \times \rho_1} \times 2\pi \times 10^5 \text{ - - - - - } 3.9 \text{ (b)}$$

las unidades del factor metálico son:

$$FM = \left[\frac{\text{Ohm - m}}{(\text{Ohm-m})^2} \right] = \left[\frac{1}{\text{Ohm-m}} \right] \text{ - - - - } 3.10$$

Como la resistividad de los sulfuros en masa es normalmente menor que las de las zonas con mineralización diseminada los factores metálicos medidos sobre ellos han de esperarse que sean mayores.

c) Mediciones del Angulo de Fase

Las mediciones del cambio de fase entre una señal alterna --- transmitida y la señal recibida, actualmente están adquiriendo mucha importancia por la información que proporciona. Zonge, Pelton, Van Voorhis y Hallof han hecho estudios a este respecto.

Los desfases de la señal recibida con respecto a la señal transmitida son debidos a que, cuando se tiene una zona con minerales conductores, las descargas del terreno son más lentas que el paso de una onda de corriente, debido al reacomodo de las partículas que forman la doble capa en la interfase metal-electrolito.

En la fig. 1.7 se observa el ángulo de retraso entre la señal del voltaje de polarización y la onda de corriente transmitida.

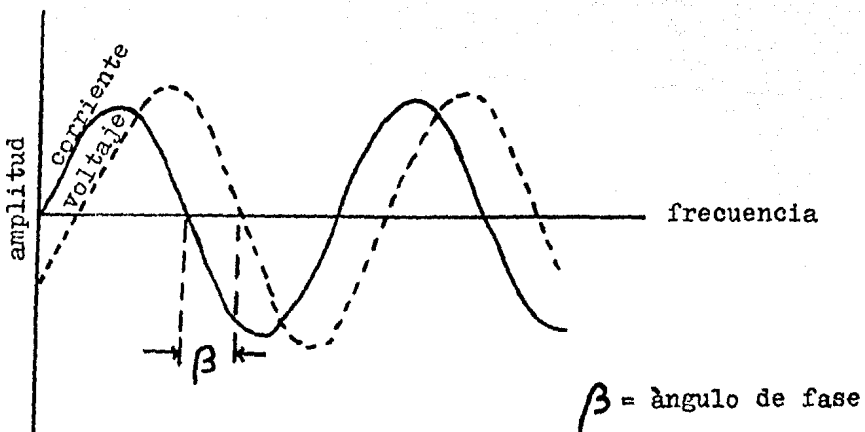


Fig. 1.7.- Medición del ángulo de fase del efecto de PI

El ángulo de fase también se puede obtener a partir de las componentes del voltaje (en fase y fuera de fase) referidos a la co-rriente transmitida, como se observa en el diagrama de vectores rotacionales de la fig. 1.8.

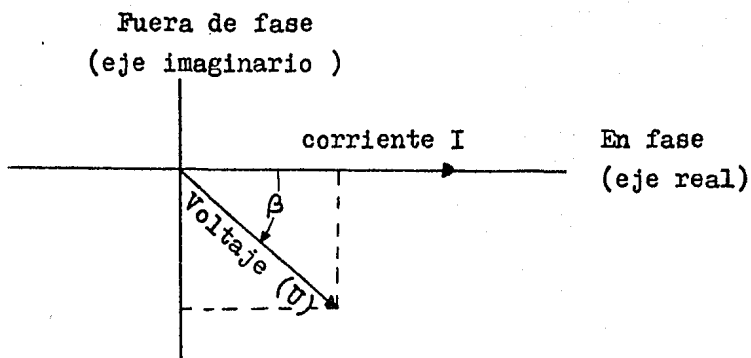


Fig. 1.8.- Componentes real e imaginario del voltaje de polarización.

En base a la figura 1.8, el ángulo de retraso de fase se puede definir como: el arco tangente de la razón de la componente imaginaria entre la componente real del voltaje de polarización.

$$\beta = \tan^{-1} \frac{U \text{ imag}}{U \text{ real}} \text{ - - - - - } 3.11$$

Las unidades de medición del ángulo de fase del fenómeno de PI generalmente se expresan en miliradianes.

III.1.1.4) Factores que afectan a las mediciones de Polarización Inducida

La magnitud de la PI que se observa en las rocas se encuentra afectada por diversos factores; para ilustrar esta situación y de acuerdo con lo discutido en la sección anterior se puede hacer una semejanza de las condiciones geológicas en forma aproximada con un circuito eléctrico formado por una combinación de resistencias y capacitores en serie-paralelo (fig. 1.9).

En el circuito de la fig. 1.9 la resistencia de las soluciones electrolíticas que se encuentran en los espacios porales no bloqueados por minerales polarizables es R_{w1} . El efecto de PI de los espacios porales bloqueados por minerales polarizables presentan una capacitancia eléctrica C_p y una resistencia de contacto R_p , además de la resistencia de las soluciones de los poros bloqueados R_{w2} y la resistencia de la partícula de mineral R_m .

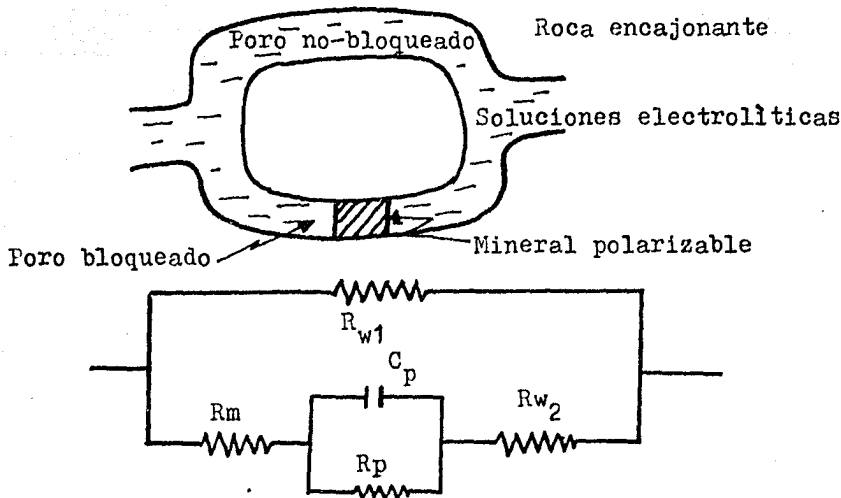


Fig. 1.9.- Circuito eléctrico equivalente del fenómeno de PI con una roca que contiene minerales polarizables y soluciones electrolíticas.

A continuación se enumeran los principales factores geológicos que influyen en las mediciones del efecto de PI.

a) Contenido de Minerales Polarizables

A mayor número de poros bloqueados por minerales conductores, mayor será el efecto de la resistencia de polarización R_p y la capacitancia de polarización C_p sobre la impedancia total de la roca, -

por lo tanto el efecto de PI aumentará conforme aumente el contenido de sulfuros o minerales polarizables en una roca, ilustrándose esta situación en la fig. 1.10 donde se efectuaron mediciones de PI en el dominio del tiempo.

b) Tamaño de los minerales polarizables

El efecto de PI depende también del tamaño de los granos de -- sulfuros o minerales polarizables para un mismo volumen de minera-- les polarizables contenidos en una roca, el efecto de PI aumentará -- conforme disminuya el tamaño de los mismos ya que el efecto de PI -- está en función de la superficie de los minerales expuesta a las so -- luciones electrolíticas.

En un grano grande de mineral se tiene una trayectoria de baja resistencia y pasará a través de él una gran cantidad de corriente -- comparada con la que pasó a través de los poros vacíos, sin embargo, la relación de área superficial a volumen de grano es pequeña, sien -- do el efecto de PI pequeño.

En rocas de grano muy pequeño, la resistencia superficial a -- través de cada grano de mineral puede ser tan grande que gran parte de la corriente pase por los poros vacíos en vez de pasar por los --

minerales y el efecto de PI serà tambièn pequeño.

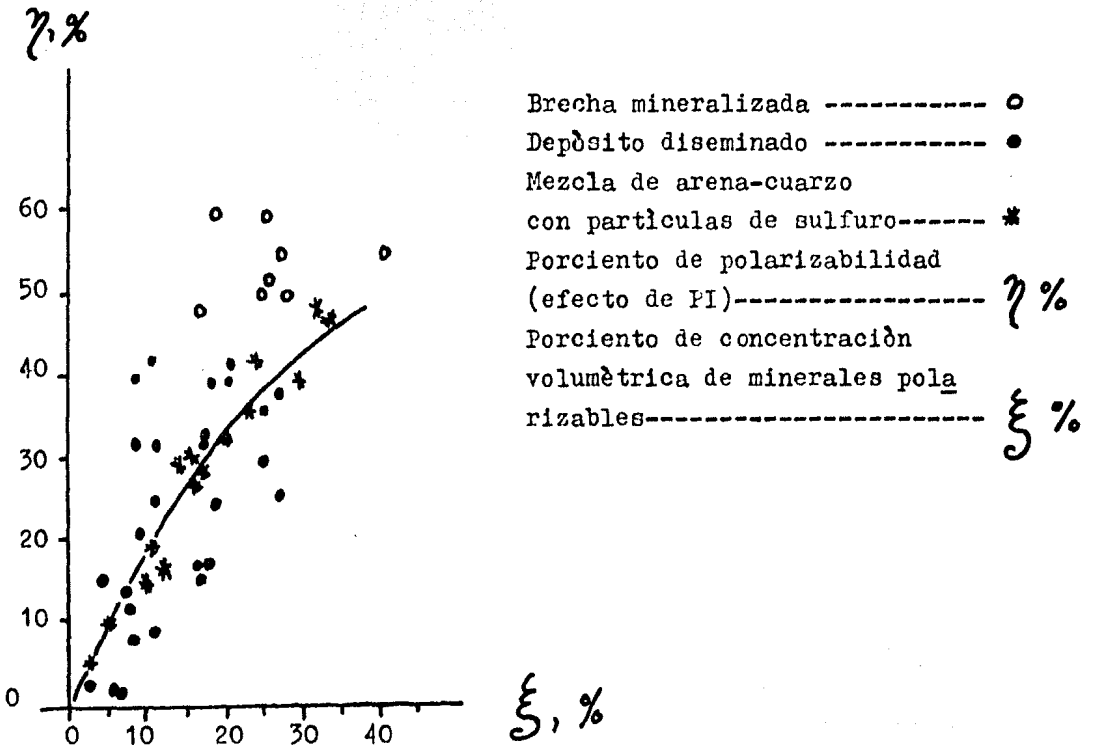


Fig. 1.10.- Relación del efecto de PI (polarizabilidad) en - - muestras de depósitos y muestras de laboratorio (según Komarov).

Por lo tanto, se espera que se produzca una polarización máxi-

ma cuando el tamaño de los granos tenga un valor intermedio. Esto ha sido comprobado experimentalmente como se ilustra en la fig. 1.11. El tamaño óptimo de un mineral polarizable para producir un efecto grande de PI depende de la resistividad volumétrica de cada roca.

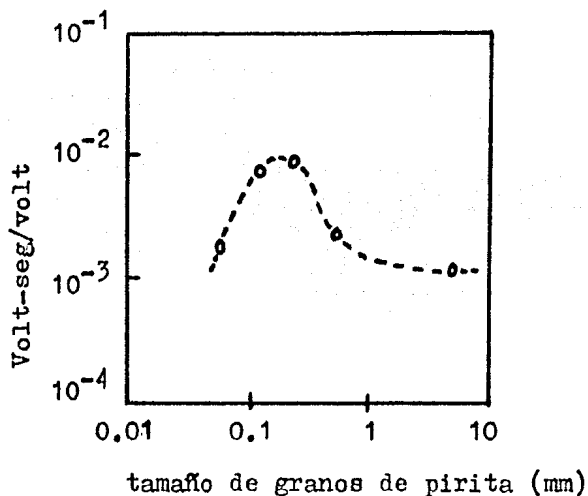


Fig. 1.11.- Efecto de PI medido en muestras de una mezcla de arena cuarcifera con pirita (mediciones hechas en el dominio de tiempo)

c) Porosidad de la roca encajonante

Para el mismo contenido de metales, rocas de baja porosidad -- producirán el mismo efecto de PI que rocas de alta porosidad. La razón es que, en rocas de baja porosidad la corriente eléctrica es obligada a fluir en los granos metálicos, produciendo un efecto --

grande de PI sucediendo lo contrario en rocas muy porosas.

d) Densidad de corriente

La PI depende también de la densidad de corriente i , ya que la resistencia de la interface R_p y la capacitancia de polarización C_p aumentan conforme disminuye la densidad de corriente, la mayor parte de la corriente elude los granos de mineral dándonos un efecto de PI pequeño.

e) Variación de la impedancia de la roca con la frecuencia

Cuando se aplica una corriente eléctrica alterna para obtener las propiedades eléctricas de una roca, el efecto de PI varía con la frecuencia. A altas frecuencias la impedancia total de la roca disminuye así como la capacitancia C_p y por consiguiente el efecto de PI (fig. 1.12).

f) Saturación de humedad de las rocas

El efecto de PI dependerá también del grado de contenido de soluciones electrolíticas que ocupen los espacios porales de una roca. Cuando una roca es gradualmente desaturada, las resistencias serán igualmente incrementadas excepto la resistencia de polarización R_p .

y la resistencia de los granos de mineral R_m que contengan.

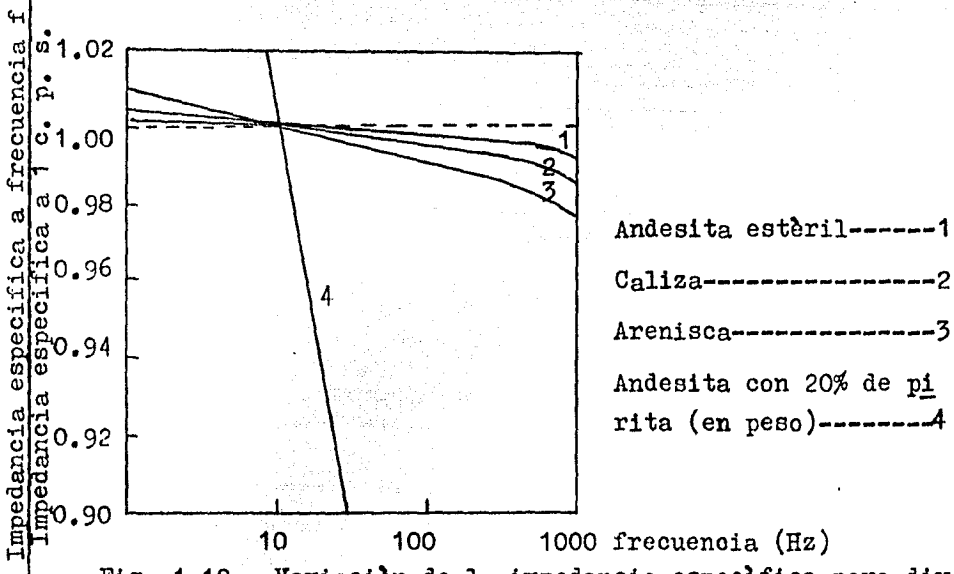


Fig. 1.12.- Variación de la impedancia especifica para diversos tipos de rocas causados por la polarización inducida. Los valores de la impedancia especifica (resistividad) han sido normalizados, dividiendo cada valor por el obtenido a 10 c.p.s.

La resistencia total a través de los poros bloqueados por minerales polarizables y a la resistencia a través de los poros estériles disminuirán conforme disminuye el contenido de soluciones electrolíticas disminuyendo así el efecto de PI.

Este factor de variación de PI se observa con datos obtenidos experimentalmente en la fig. 1.13, donde la polarización inducida -

disminuye cuando la saturación de una roca es mayor del 75% del volumen poral aprovechable.

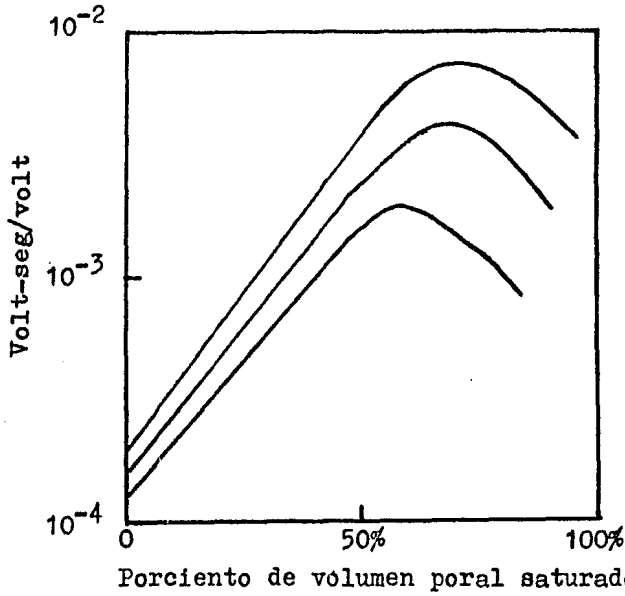


Fig. 1.13.- Efecto de PI observado en tres muestras de granito con sulfuros, en función de su contenido de agua - (mediciones en dominio de tiempo).

III.1.2) Dispositivos de Electrodo

Para los levantamientos de campo de PI existen gran diversidad de arreglos electròdicos, los cuales son los mismos que se emplean en los mètodos resistivos. En general, los dispositivos electròdicos estàn formados por cuatro electrodos, dos de ellos, A y B, que son por donde circula la corriente (circuito de emisiòn) y los otros dos, M y N, entre los cuales se mide la diferencia de potencial (circuito de mediciòn) creada por los electrodos A y B.

A continuaciòn se mencionan en forma breve algunos arreglos electròdicos y sus características generales:

1.- Dispositivo Wenner

Està formado por cuatro electrodos colineales separados entre sí a una misma distancia (a) siendo dos electrodos de corriente localizados en los extremos (A y B) y los otros dos de potencial localizados en la porciòn central (M y N). Donde el punto "o" situado en el centro del dispositivo es donde se considera que se efectúa la investigaciòn (fig. 1.14a).

2.- Schlumberger

Està formado por cuatro electrodos colineales, dispuestos como se observa en la fig. 1.14b. Donde los electrodos de corriente A y B estàn localizados a una distancia $2L$ que es mucho mayor que la distancia $2l$ entre los electrodos de medicìon.

La idea es que teòricamente $2l$ tienda a cero, en la pràctica $2l$ debe ser menor que la quinta parte de $2L$. El punto de medicìon se considera que se encuentra en "o" que es el centro del dispositivo.

3.- Gradiente

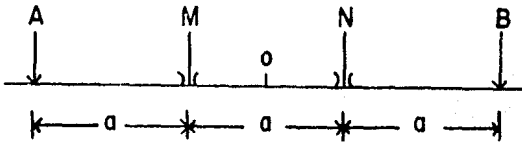
Este dispositivo es una modificaciòn del Schlumberger en el cual los electrodos de corriente permanecen fijos a una distancia $2L$ y los electrodos de medicìon o de potencial se desplazan entre ellos. Las consideraciones en cuanto a las proporciones de separaciones entre electrodos es la misma que en el dispositivo Schlumberger, segùn se observa en la fig. 1.14c. Donde x es la distancia del punto de observaciòn (punto medio entre MN) al centro de la lÌnea AB.

4.- Trialectròdico

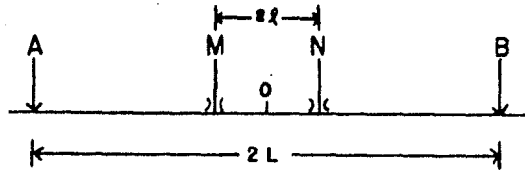
Este dispositivo es una modificaciòn del Wenner, donde un -- electrodo de corriente permanece fijo a una distancia muy grande- (teòricamente en el infinito), que en la pràctica es de 5 a 10 ve ces la separaciòn (a), formando un àngulo cualquiera con la línea que forman los tres restantes (fig. 1.14d).

5.- Dipolo-Dipolo

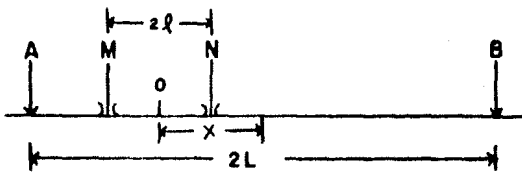
Dispositivo formado por cuatro electrodos colineales localizados como se indica en la fig. 1.14e, donde la distancia (a) entre los electrodos AB y MN es muy pequeña para considerarse como- dipolos, la distancia que separa los dos dipolos es mucho mayor - que la distancia entre cada par de electrodos. En este dispositivo se atribuye que el punto de mediciòn se encuentra localizado - en el punto de intersecciòn entre dos líneas rectas que forman un àngulo de 45° con la línea que une los dos dipolos.



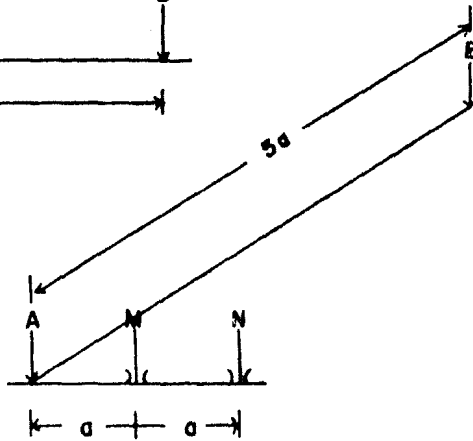
d) Wenner



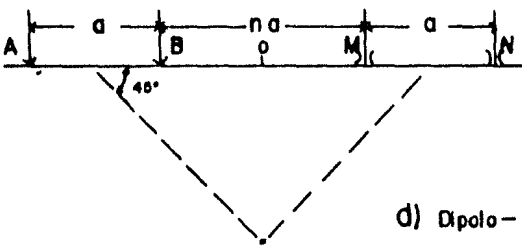
b) Schlumberger



c) Gradiente



d) Trielectrodo



d) Dipolo - Dipolo

Fig. 1.14 - Dispositivos Electricos

III.1.3) Interpretación

"La interpretación de los datos geofísicos es una curiosa mezcla de arte, ciencia, experiencia e intuición (o suerte)".

J. S. Summer (1976, p. 197)

El objetivo perseguido en las prospecciones geofísicas es la determinación de la estructura y la distribución de rocas y minerales en el subsuelo con fines económicos y, en algunos casos, de investigación; para alcanzar este objetivo es necesario superar dos etapas: la primera de ellas es intentar obtener la distribución de las propiedades físicas en el subsuelo, y la segunda buscar el significado geológico de tal distribución. Ambas etapas no son de fácil ejecución; la primera se basa en leyes físico-matemáticas, mientras la segunda depende fundamentalmente de correlaciones entre datos físicos y datos geológicos.

Las dificultades de la primera etapa tienen doble origen, por una parte por la complejidad de las relaciones matemáticas que intervienen, y por otra, porque la solución de los problemas planteados nunca es única en la práctica. El interpretador se encuentra frecuentemente con casos que admiten muchas soluciones, por lo que debe elegir dentro de los márgenes de variación posibles, aquél con

junto de soluciones individuales que tengan más probabilidades de -
representar la verdadera estructura geológica de la zona estudiada.

De lo anterior se deduce que la interpretación en general no -
puede reducirse nunca a una labor puramente mecánica, realizable --
por la aplicación automática de ciertas recetas o fórmulas matemáti-
cas, sino que se requiere la aportación de un ser inteligente. Ya-
que de acuerdo con la opinión del geofísico norteamericano Allan --
Spector (1970): "La interpretación geofísica no puede nunca automa-
tizarse o mecanizarse. Las técnicas matemáticas de cálculo electrò-
nico son solo herramientas, que cuando son hábilmente empleadas por
el geofísico (conocedor de las aplicaciones y limitaciones de estas
técnicas), llevan a la utilización óptima de los datos".

La interpretación geofísica se efectúa en 3 formas principales
que son:

- a) cualitativa
- b) cuantitativa
- c) semicuantitativa

a) Interpretación Cualitativa

La interpretación cualitativa en la Polarización Inducida con-
siste básicamente en la búsqueda de anomalías, esto es, de zonas --
donde el parámetro representativo utilizado, sea al menos dos o - -

tres veces mayor que el valor normal o de fondo observado en el - - àrea de estudio. Este valor de fondo corresponde al valor medio registrado en las zonas estèriles.

A continuaciòn se separan dichas anomalias en los diversos perfiles, secciones o configuraciones (mapas de contornos). Es importante señalar que no todas las anomalias obtenidas mediante la operaciòn anteriormente descrita corresponden a mineralizaciòn econòmica, y ademàs como todos los demàs mètodos, el de PI està sujeto a - efectos topogràficos, por lo que èstos pueden distorsionar las anomalias debidas a mineralizaciones, e incluso producir otras exclusivamente por el relieve (Coggon, 1971), por lo cual debe de realizar se entre ellas una selecciòn, a fin de escoger las que parezcan màs prometedoras. Esto se hace basàndose en la extensiòn, intensidad, - gradientes, tendencias y determinados patrones de las anomalias, -- que por experiencias se sabe que estàn asociadas a ciertos tipos de yacimientos o estructuras geològicas.

Las anomalias escogidas se estudian luego separadamente, para lo cual se efectúan estudios de màs detalle, empleando otros arreglos y separaciones de electrodos, muestreo de rocas para estudio - de propiedades físicas y otros. Despuès se correlaciona la informaciòn geofísica con la geològica y geoquímica disponible del àrea, -

jerarquizando las anomalías.

Es importante señalar que nunca debe forzarse la interpretación para ponerla de acuerdo con alguna hipótesis geológica, suprimiendo como defectuosos algunos datos geofísicos que no estén de acuerdo con ella.

Casos Históricos.- El minucioso análisis y examen de los casos históricos de exploración disponibles, proporcionan un valioso nivel de referencia al interpretador, principalmente aquellos donde se ha usado un equipo similar y/o en donde las condiciones geológicas son similares a los datos que están siendo interpretados.

b) Interpretación Cuantitativa

Los principales métodos de interpretación cuantitativa son dos:

- 1.- Modelado físico
- 2.- Modelado numérico

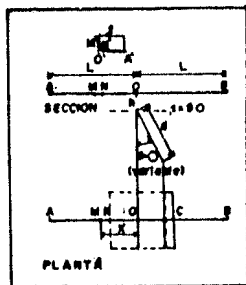
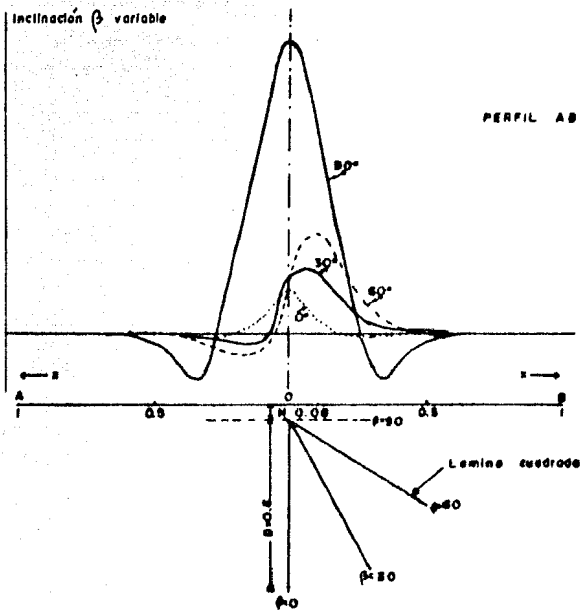
1.- Modelado Físico: el efecto de PI puede estudiarse por simulación, usando modelos, los cuales pueden ser cuerpos polarizables reales. Pero con estos existe el problema de evitar los niveles demasiado altos de densidad de corriente que pueden necesitarse para obtener una señal de polarización fuerte. También es muy -

difícil crear materiales uniformemente homogéneos con propiedades de polarización precisas, controlar la uniformidad de las resistividades y los contrastes de resistividades en los materiales del modelo. Bertin y Loeb (1974) han descrito experimentos usando materiales polarizables reales a una escala pequeña para simular las condiciones reales de campo. La figura 1.15 muestra los resultados obtenidos con este método.

Adler (1958) emplea modelos análogos de resistividad para simular los efectos de la polarización, ya que con ellos son más fácil de controlar sus valores que con los modelos de polarización.

El concepto de modelo análogo usa dos modelos de resistividad de idéntico tamaño y forma, pero con diferente contraste de resistividades. Luego, dos conjuntos de datos de resistividad son tomados usando las mismas posiciones de los electrodos de medición; la diferencia entre los dos conjuntos de datos de resistividad es análoga a una medición de polarización. La diferencia medida en resistividades, verdadera y aparente, son proporcionales a los efectos de polarización real y aparente de un cuerpo de la misma forma y medido bajo las mismas condiciones geométricas.

2.- Modelado Numérico: aunque la corteza terrestre está en ca



PERFIL AB, OX OBNL
 TAPOLE MNH $\delta A \delta B = 0.3$
 $\frac{MN}{L} = 0.04$
 $\frac{X}{L}$ constante en punto
 medio de MN

LAMINA CUADRADA
 $B = 0.6$ $C = 0.6$
 $M = 0.06$
 $P = 0$ (aproximado)

Fig. 1.15 Mediciones de laboratorio en un fanque aplicando un arreglo gradientes (Segun Dvorak y otros.)

pas horizontales, en muchas de las situaciones de exploración, hay frecuentes cambios laterales en la resistividad y en la polarización que no pueden interpretarse por el método de comparación de -- curvas maestras. Esto ha conducido a la investigación de los métodos de modelado matemático para diferentes superficies geométricas en el subsuelo, usando varias técnicas de modelado numérico. Estos métodos han llegado a ser más populares con el desarrollo de las -- computadoras digitales. Aiken y Hastings (1973) tienen un buen resumen de este tema. Dos de los métodos más versátiles del modelado numérico son las técnicas del elemento finito y de diferencias finitas.

El método de diferencias finitas se basa en la serie de Taylor de una función de dos variables. La convergencia de la serie se -- trunca después de un apropiado número de términos, para obtener una solución a la ecuación de Laplace. Las condiciones de frontera suministran algunas restricciones al problema. El sistema resultante de las ecuaciones lineales puede después resolverse para los potenciales desconocidos.

El elemento finito tiene la ventaja de un espaciamiento y de -- una geometría nodal irregular, así que pueden considerarse modelos de límites irregulares y heterogéneos. Los elementos de forma va--

riable permiten una representación más cercano al modelo geométrico real y de esta forma se necesitan menos ecuaciones que con el método de diferencias finitas. Sin embargo, con las diferencias finitas pueden manejarse problemas de tres dimensiones más sencillamente.

En las figuras 1.16 y 1.17 se dan ejemplos de la interpretación por modelado numérico.

c) Interpretación Semicuantitativa

La interpretación semicuantitativa se realiza por comparación de las curvas de campo con curvas teóricas.

Komarov (Union Inst. of Expl. Techniques. Leningrad, U.R.S.S.) describe un método de interpretación cuantitativa de anomalías de Polarización Inducida en el dominio de tiempo a partir de curvas obtenidas con la técnica de repetición del perfil AB, el cual se describe brevemente en esta sección.

Con este método es posible obtener la profundidad de la cima de un cuerpo, la profundidad de su centro, sus dimensiones horizontales, el porcentaje de minerales polarizables que contiene, inferir la inclinación, así como la estructura local de la roca encajonante

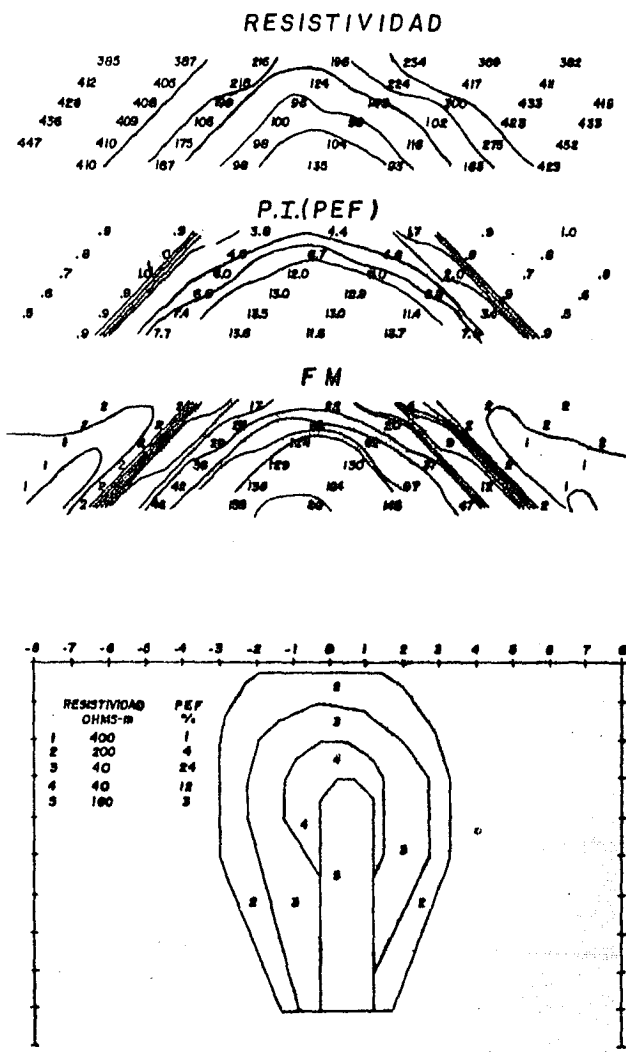


Fig.1.16- RESPUESTA OBTENIDA PARA UN MODELO DE PORFIDO CUPRIFERO EN DOS DIMENSIONES CON LA TECNICA DEL ELEMENTO FINITO (RIJO Y OTROS)

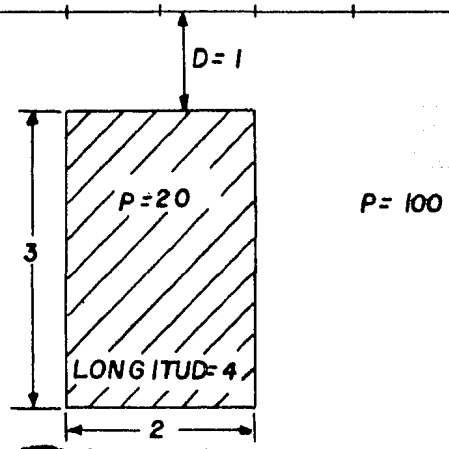
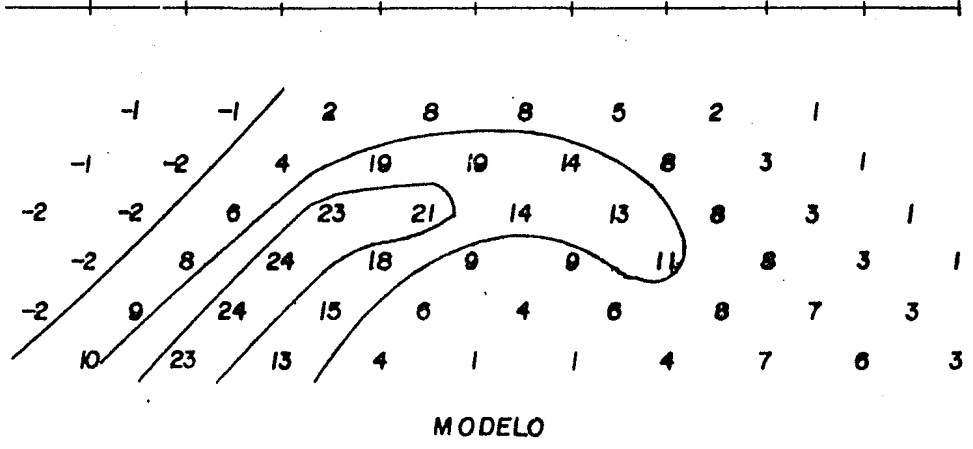
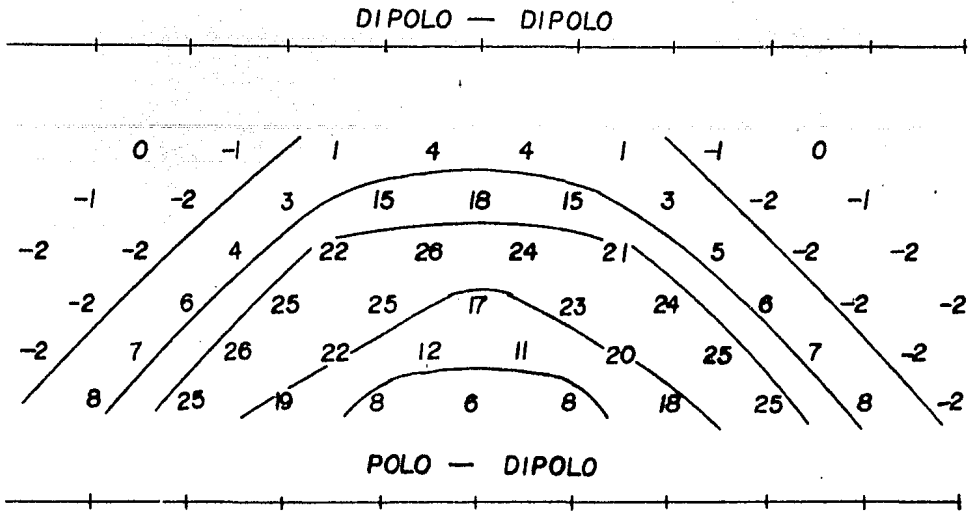


FIG. 1.17 RESPUESTA OBTENIDA CON MODELADO NUMERICO COMPARACION ENTRE LAS RESPUESTAS DE P1 CON ARREGLO DIPOLO-DIPOLO Y POLO-DIPOLO (HOHMANN)

además del por ciento de minerales polarizables.

Esta interpretación se puede efectuar en el campo fácilmente - sin complicados procesos de gabinete y laboratorio, ya que la interpretación semicuantitativa de los datos de Polarización Inducida facilita grandemente la evaluación geológica.

Para aplicar este método de interpretación, en primer lugar se localiza la anomalía de Polarización Inducida con cualquier técnica de cartografía eléctrica en la que se utilicen arreglos electrónicos simétricos, como el método de bloques o un arreglo de gradiente, ya que si se empleara un arreglo asimétrico, el centro de la anomalía se encontraría desplazado del centro del cuerpo.

Una vez localizada la anomalía, se aplica la técnica de repetición del perfil AB, la cual debe estar localizada estrictamente sobre el cuerpo mineralizado (con minerales de conducción electrónica).

En la fig. 1.18 se observan las posiciones de los electrodos y las curvas obtenidas. A la curva de Polarización Inducida obtenida cuando el cuerpo se encuentra localizado en la porción central de la línea que une los electrodos de corriente de un arreglo gradiente AB, la denotaremos como M_1 y a la curva obtenida cuando un electrodo de corriente se localiza en el centro de la anomalía y el - -

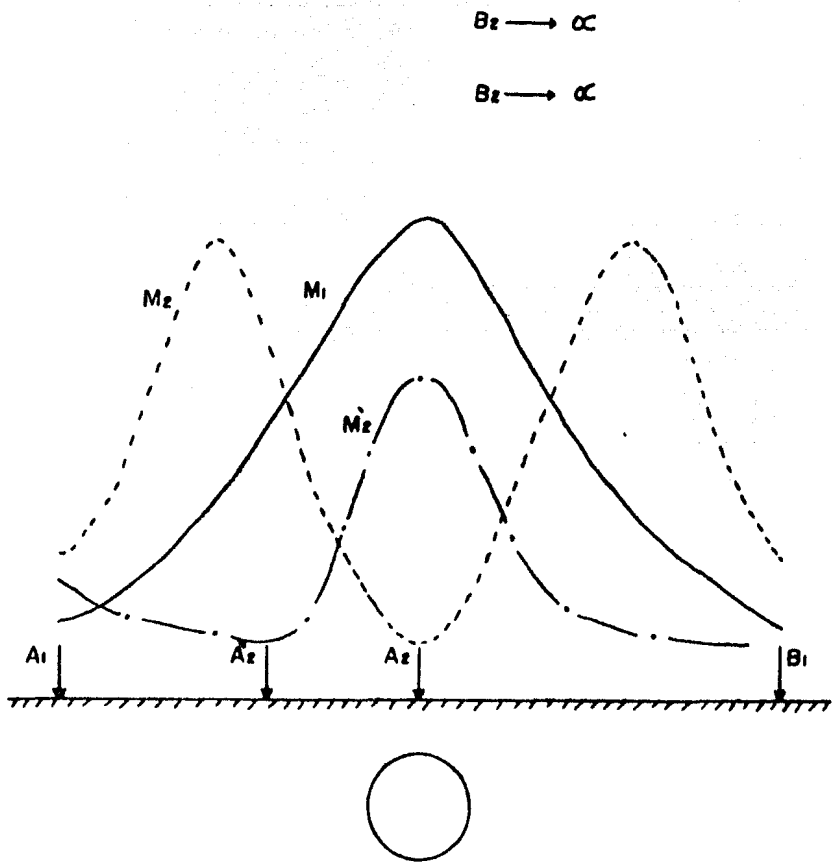


Fig.1.18 Diferentes posiciones de electrodos de corriente y sus curvas respectivas.

otro se encuentra situado en el infinito, como M_2 (arreglo semigradientes), cuando un electrodo de corriente se localiza fuera del -- cuerpo y el otro infinito como M_2' .

1.- Obtención de la cima de un cuerpo, así como su amplitud y dirección de echado

Cuando la curva de Polarización Inducida M_2' se obtiene con un electrodo de corriente localizado fuera del cuerpo y el otro situado en el infinito, y la curva M_2 se obtiene como se indicó anteriormente. Entonces, la profundidad del centro de un cuerpo esférico encajonado en rocas uniformes y homogéneas, puede ser localizado mediante la intersección de los arcos del círculo, cuyos centros son las posiciones de los electrodos de corriente A_1 y A_2 (fig. 1.19) y cuyos radios son igual a la distancia que existe entre cada electrodo de corriente y su respectivo máximo de la curva de Polarización Inducida.

En el caso de un cuerpo largo, los arcos se intersectan debajo de su centro, si éste es horizontal o buza suavemente, pero si el cuerpo tiene un echado muy fuerte, los arcos se intersectan encima de su centro. Cuando se tiene una capa de aluvión muy conductora, la profundidad que se obtiene, siempre es mayor que la real.

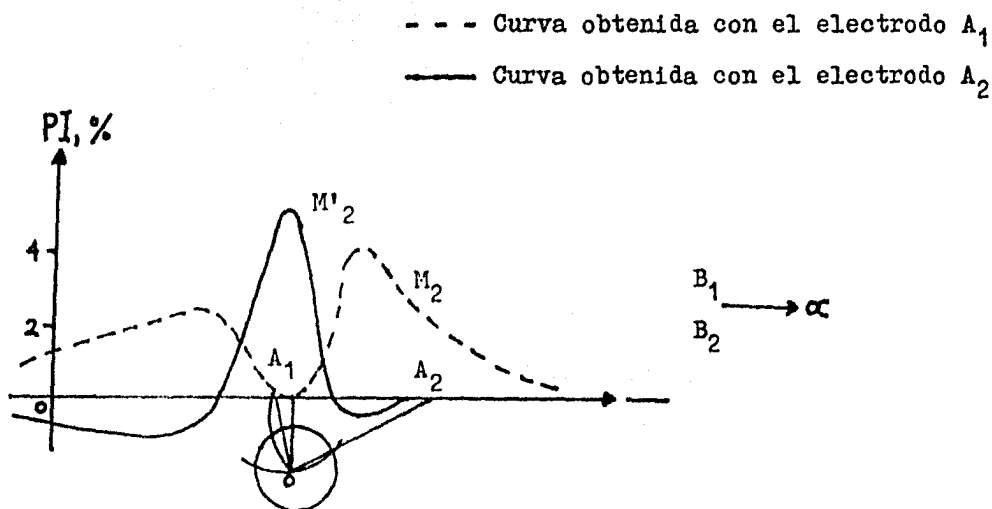


Fig. 1.19.- Curvas de PI (M_2, M'_2), obtenidas para dos diferentes configuraciones de electrodos de corriente con respecto al cuerpo esférico.

La profundidad de un cuerpo aproximadamente isométrico obtenido a partir de la curva de M_2 , es igual a la distancia que existe entre el electrodo de corriente y cualquiera de los máximos laterales, siempre y cuando el eje mayor del cuerpo sea horizontal o tenga una inclinación suave, esta situación se puede observar en la figura 1.20.

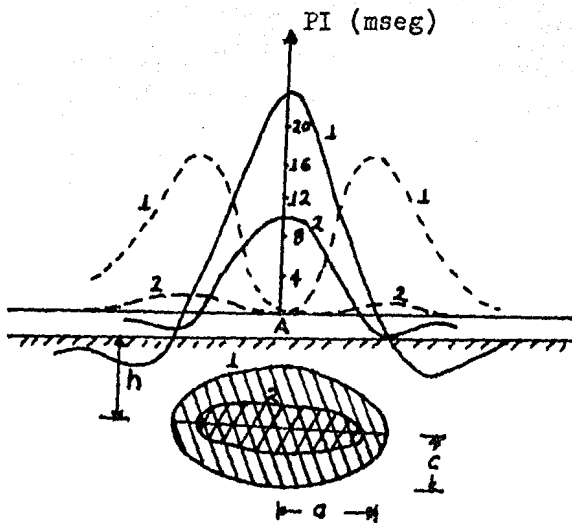


Fig. 1.20.- Curvas teóricas de PI, obtenidas sobre un cuerpo elipsoidal, con su eje mayor horizontal

La estimación de un dique horizontal o de un cuerpo muy ancho, se puede obtener con la ayuda de curvas de resistividad aparente - obtenidas con sondeos eléctricos verticales SEV.

Para obtener las dimensiones horizontales (ancho) de un cuerpo local (cuerpo pequeño, no estructura regional), es conveniente emplear relaciones sencillas obtenidas de la curva M_1 . Cuando esta - curva se obtiene sobre un perfil que pasa sobre el centro del cuerpo, su ancho es igual a la amplitud de la anomalía (fig. 1.20).

Cuando se trata de terrenos estratificados horizontalmente, se

observa un máximo en la curva M_1 cuando el espaciamento de electrodos de corriente A y B es igual a la profundidad del centro de una capa de gran espesor, cuando la capa es delgada al máximo se observa cuando el espaciamento de AB es mucho mayor que su centro.

Un método más exacto para obtener los espesores y profundidades de las capas es mediante curvas de \int_{ap} obtenidas con SEV.

La profundidad de la cima de un cuerpo que tiene su cara superficial de dimensiones considerables (por ejemplo 100 m), cuando se aplican curvas de M_2 , es igual a la distancia del electrodo A al punto donde se empieza a observar el máximo; esta condición presupone que la cara superficial es horizontal (fig. 1.21).

Cuando el eje mayor de un cuerpo tiene una inclinación, las curvas de M_1 y M_2 son "asimétricas", esta situación se puede aprovechar para obtener la dirección del echado de un cuerpo e inferir en forma aproximada su ángulo de inclinación.

Si el cuerpo tiene un echado apreciable, en la curva de M_1 se observa un valle del lado donde el cuerpo es más profundo y una pendiente muy fuerte en el máximo en la parte más superficial del mismo. Es más confiable obtener la dirección del echado del cuerpo a-

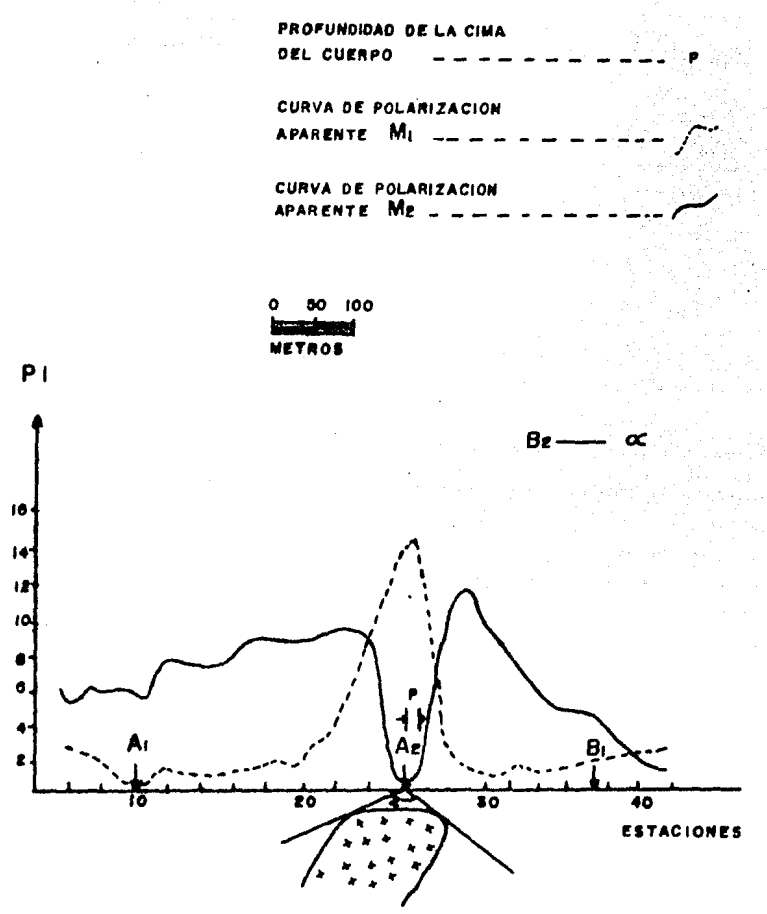


Fig. 1.21 Curvas de M_1 y M_2 sobre un intrusivo

partir de la curva de M_2 ; en este caso se observa un máximo más - - grande del lado donde el cuerpo es más somero, y un máximo más tenue del lado donde el cuerpo es más profundo, como se observa en las fi

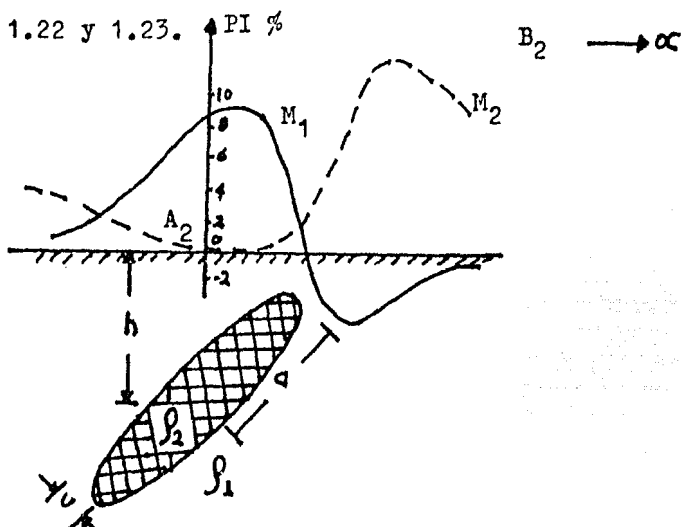


Fig. 1.22.- Curvas te ricas obtenidas sobre un cuerpo elipsoidal con su eje mayor inclinado.

En un artículo publicado posteriormente por V.A. Komarov (1976) describe otro m todo para estimar el echado de cuerpos de fuerte bu zamiento y de poca potencia (delgados), ya que la técnica de repeti ción del perfil AB tiene el inconveniente de que, cuando se trata - de cuerpos delgados y el electrodo de corriente A_2 (para obtener la curva M_2) no se localiza exactamente en el centro de la curva M_1 , - puede indicarnos un echado diferente al echado real. Esta técnica-

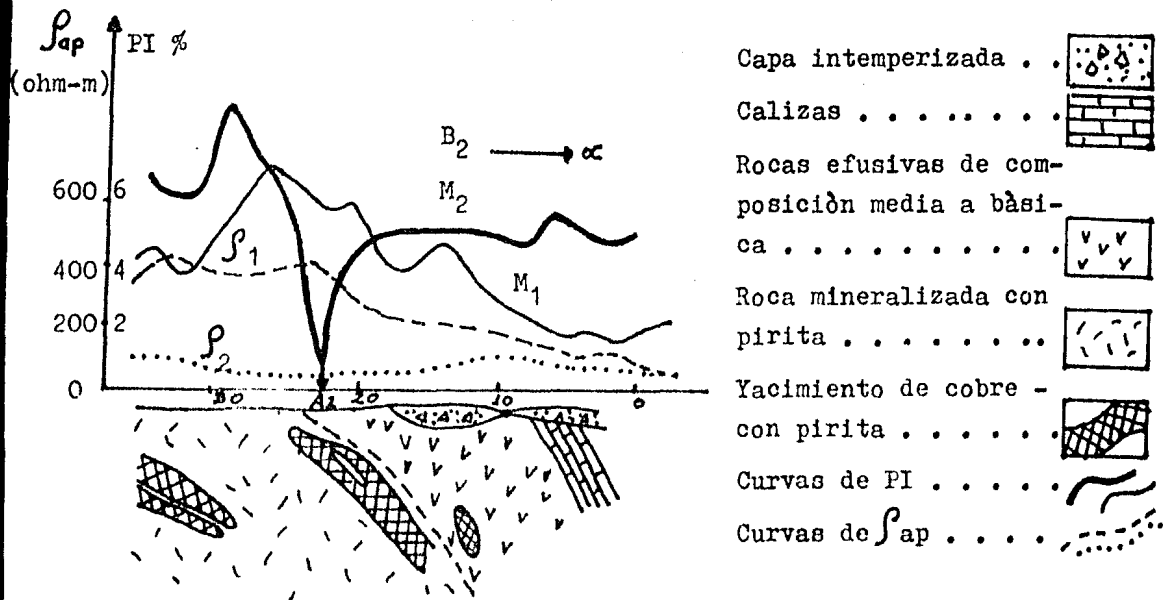


Fig. 1.23.- Curvas de campo de M_1 , M_2 y ρ_{ap} a lo largo de un perfil sobre un depósito de cobre.

que se ha llamado en México semigradientes múltiples, se describe como se indica a continuación:

Una vez obtenida la curva M_1 , su longitud se divide en 7 partes iguales, colocando posteriormente el electrodo A_2 en cada una de las divisiones obtenidas, por ejemplo: cuando la anomalía tiene una longitud de 70 m., se colocaron los electrodos A_2 cada 10 m. y se obtendrá en cada una de estas posiciones la respectiva curva M_2 . En la fig. 1.24 se presentaron las curvas obtenidas para un cuerpo elipsoidal con fuerte inclinación; donde se observa que los máximos más prominentes se localizan hacia el lado donde buza el cuerpo y -

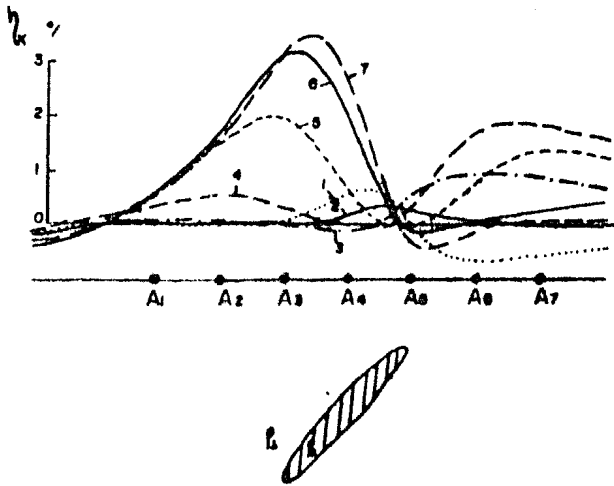


Fig. 1.24 Curvas de PI obtenidas con un arreglo semi-
 gradientes múltiples, sobre un cuerpo elipsoidal
 con fuerte buzamiento (Segun Komarov)

los máximos menos intensos hacia el lado contrario, cuando el cuerpo es vertical los máximos obtenidos hacia ambos flancos del mismo son simétricos o sea de la misma forma e intensidad.

III.1.4) Equipo Empleado

El equipo de campo de Polarización Inducida, tanto en dominio de frecuencia y tiempo, está formado por dos unidades; una de transmisión de señal y otra de recepción, además de cable aislado, electrodos y equipo auxiliar. Aquí nos referimos únicamente al equipo para dominio de tiempo de Scintrex, modelo MARK VII.

III.1.4.1) Unidad de Transmisión

Esta unidad básicamente consta de un motor generador de corriente alterna, un rectificador adaptado al mismo y un transmisor el cual es el que controla el envío de corriente eléctrica al terreno.

a) Generador: el generador de corriente eléctrica está formado por un motor de combustión interna marca Volkswagen de tipo industrial con una potencia de 36 H.P. y de un generador Bendix tipo aviación trifásico, el cual da salidas de 208 y 115 volts a una frecuencia de operación de 400 Hz.

b) Transmisor: el transmisor IPC-7 teòricamente tiene una potencia de 15 Kwatts en su salida. Este se encuentra comunicado con la carga fantasma, la que està formada por 9 grupos de resistencias de alta disipaciòn, los cuales se encuentran en paralelo. La funciòn de la carga fantasma es que el motor-generador trabaje a un cierto nùmero de revoluciones constantes, ya sea en el periodo de alto voltaje o carga fantasma.

III.1.4.2) Unidad de Medicìon

Esta unidad se encuentra formada por un medidor de voltaje, o sea, el receptor IPR-8; òste trabaja en el dominio del tiempo y puede medir el àrea bajo la curva de decaimiento en una sola integraciòn, o bien, en tres o seis fracciones.

III.1.4.3) Electrodo

Los electrodos del circuito de emisiòn, tambièn conocidos como electrodos de corriente, generalmente son de acero o fierro, los --cuales tiene 2 cm. de diàmetro y 40 ò 50 cm. de longitud. Cuando -el terreno es sumamente resistivo se emplean super electrodos, los-cuales pueden ser: hojas de papel aluminio o de algùn otro metal -conductor, alambre de cobre sin forro aislante formando polìgonos,-o bien, varias varillas.

Los electrodos del circuito de medición o electrodos de potencial, deben ser impolarizables ya que, si se usaron varillas de fierro, se tendrían lecturas erróneas debido a efectos de "polarización de electrodos". Estos electrodos generalmente son pequeños vasos de cerámica, también conocidos como "tazas", cuya parte inferior es porosa y permeable, con una varilla de cobre colocado en su interior, este vaso se llena de una solución acuosa de sulfato de cobre.

III.1.4.4) Cable

El cable que se emplea debe presentar baja resistencia eléctrica y gran resistencia a las tensiones y fricciones; por otra parte, debe presentar reducido peso; estas condiciones son contradictorias y se debe buscar un término medio entre ambos. Generalmente, el cable utilizado es el de 16 hilos de cobre estañado.

Este cable va enrollado en carretes de aluminio, los cuales tienen adaptados dos tirantes para cargarse y maniobrar con mayor libertad.

III.1.4.5) Equipo Auxiliar

El equipo mencionado en las secciones anteriores es el primor-

dial, empleándose además en un levantamiento de campo equipo opcional o auxiliar con el objeto de facilitar el levantamiento, además de hacerlo más rápido.

a) Radios (Walkie-Talkie): generalmente se emplean tres y es con el objeto de que el operador, o bien su ayudante, se comuniquen con los obreros que llevan los electrodos de corriente.

b) Multímetro: es conveniente tener uno a la mano ya que es de gran ayuda para localizar fallas en el equipo, así como también malas conexiones o falsos contactos en los circuitos de medición y emisión.

III.1.5) Trabajos realizados

Previamente al levantamiento sistemático de Polarización Inducida, se efectuaron varias pruebas para elegir el arreglo eléctrico y sus dimensiones que mejor respuesta presenten a las condiciones geológicas del área. La primera prueba consistió en aplicar un arreglo gradientes, el cual está formado por cuatro electrodos: dos de corriente o emisión (A y B) y dos de potencial o de medición (M y N); los electrodos de corriente con este arreglo permanecen fijos y los de potencial, que guardan una distancia constante entre sí, -

se desplazan a lo largo de la línea entre A y B. En esta prueba se variaron las distancias entre A y B, y la separación entre M y N, - eligiéndose un \overline{AB} de 1,080 m. y un \overline{MN} de 20 m. La segunda prueba, - en la que se aplicò el método bloques, que es una variante del arreglo gradientes, consistió en leer el tercio central de las líneas - contiguas hacia ambos flancos de la línea donde se colocaron los electrodos de corriente (fijos), con el objeto de conocer hasta qué línea la respuesta se conserva a un mismo nivel. Con los resultados en esta prueba se observò que se podían leer dos líneas a cada flanco de la línea donde se colocaron los electrodos A y B, o sea, - con este método es posible en cada puesta de electrodos, leer 5 líneas con una longitud de 360 m.; esta configuración electròdica se observa en la fig. 1.25.

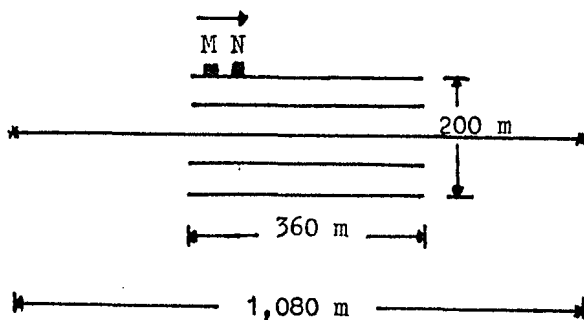


Fig. 1.25.- Configuración Electròdica en el Método de Bloques

Este arreglo electròdico tiene la ventaja de que elimina hasta cierto punto las inhomogeneidades horizontales del subsuelo, dándonos las respuestas aproximadamente a un mismo nivel (o valor de fondo) y considerándose para fines pràcticos que la penetraciòn de la corriente es casi constante; otra de las ventajas es que se pueden leer varias lneas simultàneamente, haciendo mäs ràpido el trabajo de campo y en consecuencia abatiendo los costos.

El cubrimiento con este mètodo fue el mismo que se efectuò con topografìa, o sea, 62 km. lineales, tomando lecturas cada 20 m.

Los trabajos realizados en Gabinete fue la elaboraciòn de planos (escala 1:2,000) de los datos obtenidos en el campo.

Con lo que respecta a la cargabilidad (PI), se presentan dos modalidades, esto es para una mejor visualizaciòn en la interpretaciòn; una de las modalidades es la configuraciòn en planta (làmina 4), que nos indican la zona de mayor concentraciòn de sulfuros diseminados polarizables, tanto en la estructura como fuera de ella (aureola de diseminaciòn). En segundo lugar fue la elaboraciòn de perfiles en planta (làmina 3) y que consiste en graficar los datos de campo sobre la lnea prospectada tomando èsta como eje y eligiendo como valor de fondo 6 milisegundos. Esta ùltima forma, nos ayuda a

definir a rumbo la traza de la estructura (veta), así como también ciertos rasgos estructurales como son las fallas, que desplazan y cambian de rumbo a las vetas en algunos casos.

III.1.6) Resultados Obtenidos

En general, los resultados obtenidos son satisfactorios, ya -- que se obtuvieron respuestas geofísicas que nos infieren la presencia de estructuras tabulares mineralizadas, aureolas de diseminación de sulfuros y algunos rasgos estructurales de interés.

Las anomalías de PI se clasificaron en tres categorías: de -- primero, segundo y tercer orden. Las anomalías de primer orden, -- que son las de mayor intensidad (mayores de 11 milisegundos) y mejor definidas, se correlacionan con un alto contenido de sulfuros -- polarizables en forma diseminada en las estructuras; las anomalías de segundo orden, que se consideran dentro del intervalo de 7 a 11 milisegundos, son posiblemente ocasionadas por un contenido menor -- de sulfuros polarizables diseminados dentro de la estructura o bien la mineralización de sulfuros es más formal o masiva; las anomalías de tercer orden, que son de una intensidad menor de 7 milisegundos, son posiblemente ocasionadas por un contenido pobre de sulfuros diseminados, o bien, los sulfuros se encuentran en forma más masiva, --

lo que ocasiona un bajo efecto de PI. La correlación lateral entre anomalías nos forma trazas que nos indican la presencia a rumbo de vetas con sulfuros polarizables, como se observa en la lámina 3.

En el plano de gráficas de PI (lámina 3) se observa que las zonas de mayor intensidad se tienen en la porción Sur-Oeste del área estudiada y que, conforme se avanza hacia el Norte-Este, la intensidad de las anomalías disminuye e incluso desaparece, esta situación se observa más claramente con las anomalías de las vetas Azteca y Zapoteca, las cuales se dividieron en 3 bloques denominados A, B y C. El bloque A, que se localiza en la porción Sur-Oeste del área, es donde se tienen las respuestas más intensas y se piensa que son ocasionadas por una gran diseminación de sulfuros polarizables (posiblemente un gran contenido de pirita), dentro de la estructura. - El bloque B, que se localiza en la porción central del área, está constituido por anomalías de primer orden, las cuales son menos intensas que las que se tienen en el bloque A; en este bloque, las anomalías son ocasionadas por sulfuros diseminados en las vetas, con menor cantidad con respecto a el contenido en el bloque A. Se observan, además, en este bloque varios cambios locales de tendencia en las trazas, lo que infiere que las estructuras cambian localmente de rumbo, debido a un afallamiento intenso, que las desplaza en sentido vertical y horizontal.

En el bloque C, que se localiza en la porción Norte-Este del área, se tienen generalmente anomalías de segundo y principalmente-tercer orden; por las características geológicas y geofísicas que se tienen en este bloque, posiblemente las respuestas sean ocasionadas por estructuras diferentes a las vetas Azteca y Zapoteca, ya -- que las estructuras que se observan son más formales, de poca potencia y con un contenido mayor de sulfuros y especularita en la superficie, además por las respuestas geofísicas de baja intensidad se infiere un bajo contenido de sulfuros diseminados pero con mayor -- contenido de sulfuros en forma masiva. Las características tanto geológicas como geofísicas se observan en todo el bloque C, excepto en la veta Gloria, donde se tienen respuestas geofísicas de primer-orden y amplias zonas de oxidación.

En la lámina 4, donde se presenta la configuración de cargabilidad, se observan las zonas anómalas (en color naranja) delimitadas por la curva de ocho milisegundos, las cuales nos indican zonas con un mayor contenido de sulfuros polarizables, estas zonas están formadas por las estructuras mineralizadas y su aureola de diseminación de sulfuros (principalmente pirita). La zona anómala de mayor interés se observa en el extremo Oeste del área (bloque A), que corresponde a las vetas Azteca y Zapoteca I, las otras zonas anómalas que se observan en el área se asocian a las vetas Tortolas y Gloria.

III.2) Resistividad

III.2.1) Aspectos Teóricos

III.2.1.1) Introducción

Los métodos eléctricos en los que la corriente se aplica al -- suelo conductivamente por medio de electrodos, tienen su fundamento en el hecho de que las variaciones en la conductividad del subsuelo alteran el flujo de corriente en el interior de la tierra, lo que -- se traduce en una variación de la distribución del potencial eléc-- trico. El mayor o menor grado de alteración del potencial eléctrico en la superficie del terreno depende del tamaño, forma, localiza-- ción y resistividad eléctrica de los cuerpos del subsuelo.

La conducción eléctrica en la mayoría de las rocas es escen-- cialmente electrolítica. Esto es debido a que las rocas (sus gra-- nos) son aislantes en sí, por lo que la conducción eléctrica se rea-- liza a través del agua intersticial que normalmente contienen y que siempre tiene, en mayor o menor grado, sales disueltas que la hacen conductora. Por consiguiente, la resistividad de una formación se-- rá función de su contenido en electrólitos, que a su vez dependen -- de la porosidad efectiva de la roca y del índice de saturación.

En el caso de los sulfuros metálicos y, en el más general, de--

las rocas que contienen una cierta proporción de arcilla, èsto no - es absolutamente cierto, ya que estos minerales toman parte en el - proceso de conducciòn.

En las rocas cristalinas por su baja porosidad, la conducciòn- elèctrica se efectúa principalmente a lo largo de grietas y fisuras, por lo que, a igualdad de los demàs factores que influyen en ella, - su resistividad serà inversamente proporcional a la abundancia de - ellas. De hecho, en este tipo de rocas, y a menos que el agua sea - salada, el grado de fisuraciòn es el factor que màs influye en su - resistividad.

De acuerdo a lo anterior, podemos mencionar que no existe una- ley general que correlacione litología con resistividad. No obstan- te, pueden establecerse criterios de tipo general, tales como el -- que la resistividad de las formaciones crece en el orden siguiente: arcilla, arena, grava y caliza.

En la tabla 1 se dan los valores entre los que suelen oscilar- las resistividades de las rocas màs comunes, pero es posible encon- trar rocas de alguno de estos tipos con resistividades mayores o me- nores que las aquí indicadas.

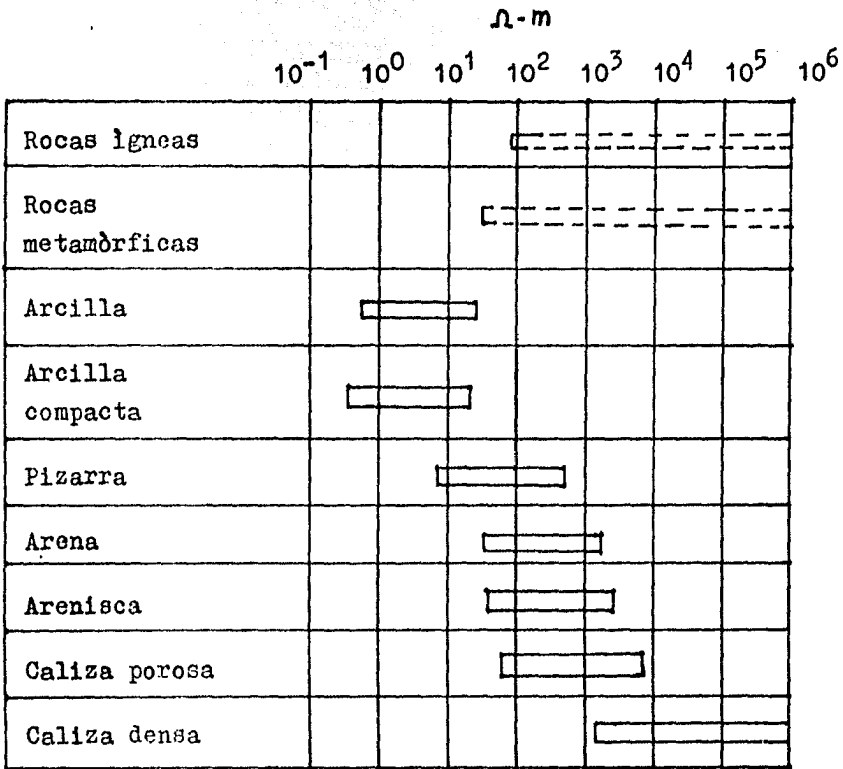


Tabla 1.- Resistividades eléctricas de las rocas.

III.2.1.2) Método de Resistividad

La resistividad de un material está definida por la expresión matemática de la ley de Ohm, que establece que la intensidad del campo eléctrico \vec{E} , en un punto dentro del material, es proporcional a la densidad de corriente eléctrica \vec{J} pasando por dicho punto:

$$\vec{E} = \rho \vec{J}$$

Físicamente, la resistividad es una medida de la dificultad de paso que la corriente eléctrica encuentra al atravesar un material determinado; si, en cambio, consideramos la facilidad de paso, aparece el concepto de conductividad eléctrica (σ).

$$\sigma = 1/\rho$$

Las unidades de medida en el sistema MKS para la resistividad y la conductividad eléctrica son respectivamente el Ohm-metro ($\Omega\text{-m}$) y el mho/metro (ν/m).

Para la comprensión adecuada de los métodos de resistividad es necesario tener una idea acerca del potencial producido sobre terreno homogéneo por un sistema dado de electrodos.

De acuerdo a la figura 2.1 que es la forma más general del dispositivo de cuatro puntos, hallaremos la ecuación general de la resistividad (ρ).

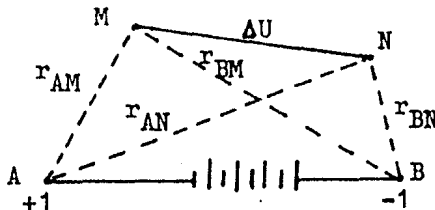


Fig. 2.1.- Dispositivo tetraelectròdico para el trabajo por el método de resistividad.

Las tomas de tierra A y B crean en el punto M, que dista de ellos una distancia r_{AM} y r_{BM} , un campo eléctrico con potenciales U_{MA} y U_{MB} , en donde:

$$U_{MA} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_{AM}}, \quad U_{MB} = \frac{\rho I}{2\pi} \frac{1}{r_{BM}}$$

Por lo que el potencial total en el punto M es:

$$U_M = U_{MA} + U_{MB} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right)$$

Análogamente, el potencial en el punto N es:

$$U_N = U_{NA} + U_{NB} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}} \right)$$

La diferencia de potencial entre los puntos M y N será:

$$\Delta U = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}} \right)$$

De aquí obtenemos la siguiente expresión para la resistividad-
(ρ) en un medio homogéneo, en cuya superficie se encuentra un dispositivo tetrapuntual:

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}}}$$

$$\text{si } K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}}} \quad \text{----- (I)}$$

tenemos que

$$\rho = K \frac{\Delta U}{I} \text{ ----- (II)}$$

La magnitud K se determina por la distancia entre los electrodos del dispositivo y se denomina coeficiente del dispositivo.

III.2.1.3) Resistividad Aparente

La ecuación II obtenida para un medio homogéneo, se puede aplicar para la interpretación de los resultados de la medición con un dispositivo tetrapuntual situado en la superficie de un terreno heterogéneo; sin embargo, en este caso, en el resultado del cálculo - tan solo obtenemos una cierta magnitud arbitraria que tiene las dimensiones de una resistividad. A esta magnitud arbitraria se le denomina Resistividad Eléctrica Aparente y se designa por ρ_a .

Por lo tanto, en el caso general se tiene

$$\boxed{\rho_a = K \frac{\Delta U}{I}} \text{ ----- (III)}$$

De aquí se deduce que ρ_a no depende de la intensidad de la corriente I que se envía al terreno, ya que la variación de la intensidad de corriente I origina otra variación proporcional de la diferencia de potencial ΔU . La magnitud de la resistencia aparente de-

pende de la estructura del corte geoelectrico, de la distribución relativa de las tomas de tierra en el dispositivo y de la situación de ésta en la superficie del terreno.

Esto se observa en la fig. 2.2, en donde se presenta un dispositivo tetrapuntual situado: a) sobre un medio homogéneo; b) sobre un medio que incluye un cuerpo buen conductor y c) sobre un medio que incluye un cuerpo mal conductor.

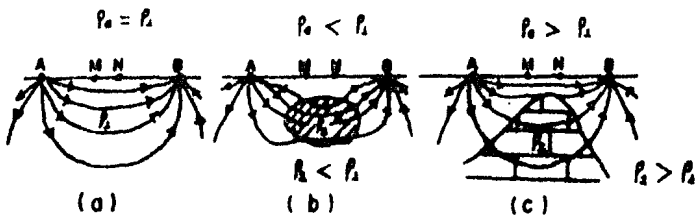


Fig. 2.2 Dependencia de ρ_a del carácter del corte Geoelectrico.

III.2.1.4) Principio de Reciprocidad

En los circuitos eléctricos usuales, compuestos por redes, se cumple el principio de reciprocidad que dice que en cualquier red compuesta por elementos lineales (es decir, de impedancias independientes de la intensidad que las atraviesa) si la aplicación de una diferencia de potencial ΔU entre dos terminales determinadas produce una corriente I en cierta rama del circuito, entonces la aplicación

de la misma ΔU en los extremos de esta rama hace circular la misma intensidad I entre los dos primeros terminales.

De acuerdo a esto, si en la expresión (III) se truncan entre sí los electrodos A y M, por una parte, y los B y N por otra, vuelve a obtenerse la misma ecuación. Esto quiere decir que si los electrodos de corriente intercambian sus posiciones con los de potencial, todo permanece igual y el coeficiente de dispositivo permanece invariable.

No obstante, aunque el principio de reciprocidad es útil para consideraciones teóricas, por ejemplo para comparar dispositivos diferentes, etc., no es factible en la práctica el colocar los electrodos M y N tan separados como suelen estar los A y B, pues al ser grande la distancia entre los primeros, junto con el potencial estudiado, penetrarían las corrientes telúricas, parásitos industriales, etc., cuyo efecto aumenta proporcionalmente con la distancia entre M y N.

III.2.1.5) Dispositivos Electrónicos

Aparte de los dispositivos mencionados en el capítulo III.1.2, existen otros tipos de arreglos, los cuales son los Dispositivos Di

polares. Estos constituyen una familia muy importante, caracterizada por que en ellos, los electrodos de corriente A y B están lo suficientemente próximos entre sí respecto de la distancia a que se miden sus efectos para que puedan considerarse como un dipolo. Se mencionan a continuación estos tipos de dispositivos:

1) Dispositivo paralelo

Tal como se indica en la figura 2.3 a, los dos dipolos son paralelos.

2) Dispositivo perpendicular

Los dos dipolos forman ángulo recto (fig. 2.3b)

3) Dispositivo radial

El dipolo MN se encuentra situado sobre la recta que une los centros de ambos dipolos (fig. 2.3c).

4) Dispositivo azimutal

El dipolo MN es perpendicular a la recta que une los centros de ambos dipolos (fig. 2.3d)

5) Dispositivo ecuatorial

Es a un tiempo paralelo y azimutal, de modo que ambos dipolos son paralelos entre sí y perpendiculares al eje que pasa por sus --

centros (fig. 2.3 e).

III.2.1.6) Sondeo Elèctrico

El objeto del sondeo elèctrico es el de deducir la variaciòn - de la resistividad elèctrica con la profundidad, bajo un punto de-- terminado de la superficie terrestre, y relacionarla con los datos-- geològicos disponibles, para inferir con mayor detalle la estructu-- ra del subsuelo. El procedimiento se basa en el hecho de que la -- fracciòn de corriente elèctrica introducida en el terreno que pene-- tra por debajo de una cierta profundidad, aumenta con la separaciòn de los electrodos de corriente.

En la prospecciòn minera, el tipo màs interesante de distribu-- ciòn de resistividades consiste en un solo volumen de tamaño relati-- vo pequeño (una metalizaciòn) cuya resistividad elèctrica difiere - de la presentada por la roca encajonante. Aunque los sondeos elèc-- tricos pueden utilizarse en la bûsqueda de tales cuerpos del modo - indicado màs arriba, la aplicaciòn de este mètodo es discutible, -- puesto que para empezar, debemos decidir dònde se efectuarà el son-- deo elèctrico. Por lo tanto, el papel de los sondeos elèctricos en la prospecciòn minera es bastante limitado, aunque sea, por el con-- trario, uno de los mètodos fundamentales en la prospecciòn de aguas.

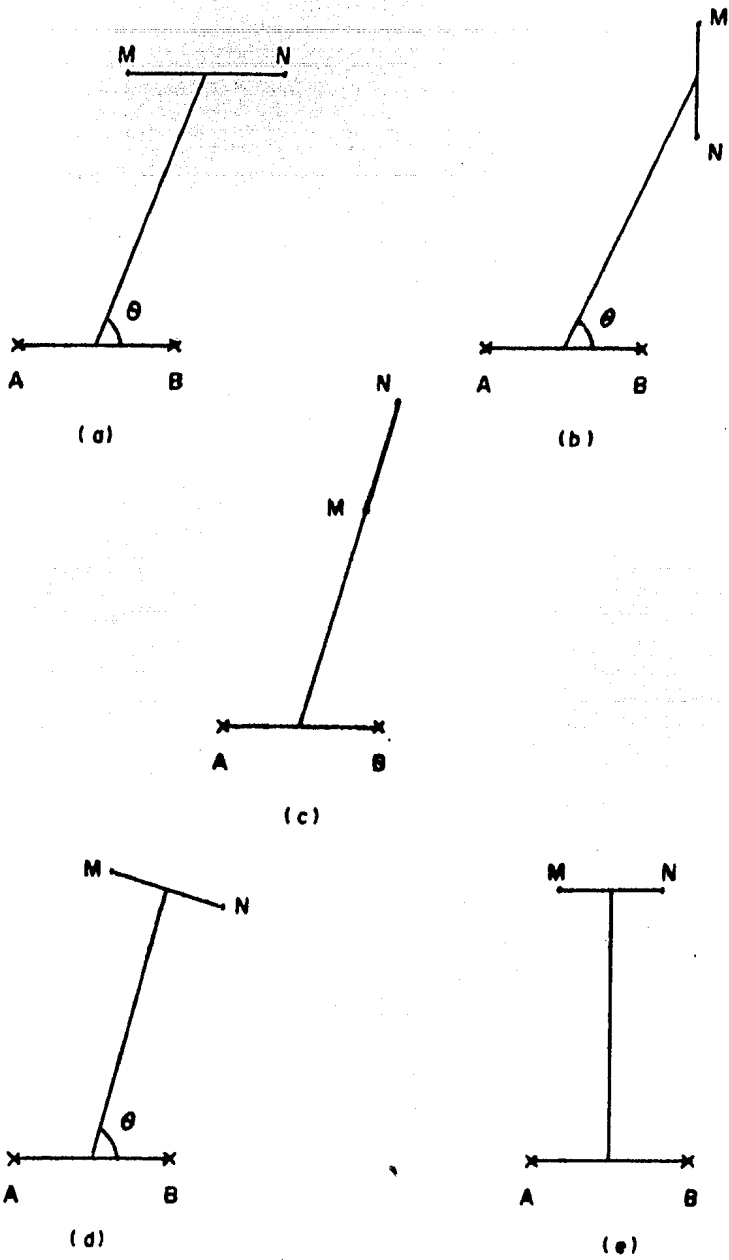


Fig. 2.3 Dispositivos electródicos dipolares

III.2.1.7) Calicatas Elèctricas

La finalidad de las calicatas elèctricas es el estudio de las variaciones laterales en la resistividad del subsuelo. Se trata, -- pues, de un mètodo de investigaciòn horizontal, a profundidad a -- proximadamente constante, muy adecuada para detectar contactos geològicos verticales o inclinados, cambios laterales de facies, es -- estructuras mineralizadas, diques y otros cuerpos o estructuras que -- se presentan como heterogeneidades laterales de resistividad.

Las investigaciones horizontales suelen efectuarse a lo largo de perfiles previamente señalados en el terreno, generalmente paralelos, y los resultados obtenidos se relacionan entre sí, con lo -- que resulta un estudio en planta, a profundidad màs o menos constan -- te, es decir, una verdadera "cartografía elèctrica".

Existe una gran variedad de tipos de calicatas elèctricas, pe -- ro todas ellas pueden clasificarse en dos grandes grupos. En el -- primero de èstos, los electrodos de corriente permanecen fijos du -- rante la mediciòn, de modo que se crea en el terreno un campo esta -- cionario, el cual es explorado colocando los electrodos M y N en di -- versas posiciones.

El segundo grupo lo constituyen aquellos mètodos en los que --

los cuatro electrodos se desplazan conjuntamente, conservando sus distancias y posiciones mutuas, es decir, que el dispositivo se traslade sobre el perfil como un todo rígido. En cierto modo, estos métodos pueden considerarse como los de calicatas eléctricas -- propiamente dichas. En ellos, el campo eléctrico en el terreno es diferente para cada posición del dispositivo.

Los métodos principales de calicatas eléctricas son:

1) Métodos de campo fijo:

- a) Método de gradientes
- b) Método Racom (o de relaciones de diferencias de potencial)
- c) Calicata Schlumberger
- d) Método de bloques

2) Métodos de dispositivo móvil:

- a) Calicatas dipolares axiales (mono y bilaterales)
- b) Calicatas trielectròdicas (simples y combinadas)
- c) Calicatas de dispositivo simétrico
- d) Calicatas de dispositivos apantallados y de cero
- e) Calicatas circulares
- f) Otros tipos de calicatas

La interpretación de las curvas de resistividad aparente suministradas por las calicatas suele hacerse de modo cualitativo, ba--

sàndose en ideas intuitivas, muchas veces desprovistas de base, y - no pocas, erròneas. En este proceso de interpretaciòn de los resul- tados de campo (gràficas y planos en planta) se determina el tipo - de corte geoelectrico de la zona investigada, la disposiciòn previs- ta de las estructuras geològicas (ejes de plegamiento, afloramien- tos de las capas bajo el recubrimiento, fallas, etc.), la direcciòn del buzamiento de las capas y otras características cualitativas -- del corte.

Para determinar cualitativamente, en el proceso de la interpre- taciòn mediante los mapas de isorresistividad y gràficas de ρ_a el- caràcter del corte geoelectrico, el interpretador compara los resul- tados de campo con gràficas y planos obtenidos mediante modelado fi sico y matemàtico de estructuras geològicas típicas.

Actualmente se tiene un gran nùmero de curvas teòricas de ρ_a - para los diversos dispositivos que se emplean en el cateo electrico. Estas curvas representan diferentes cortes geològicos: con superfi- cies de separaciòn planas, verticales e inclinadas; con superficies de separaciòn esfèricas, elipsoidales y otros.

De todas las curvas teòricas, se utilizan en la interpretaciòn sobre todo aquèllos que representan cortes con superficies de sepa-

ración de los medios de distinta resistividad, planas y verticales.

III.2.2) Trabajos realizados

Los trabajos realizados con el método de resistividad se llevaron a efecto mediante las mismas consideraciones que el levantamiento con Polarización Inducida. Además de que por las características del equipo se toman simultáneamente los datos de PI y resistividad.

III.2.3) Resultados Obtenidos

Las anomalías de Resistividad, o sea los valores altos, (lámina 5) no se clasificaron por categorías, ya que los datos son muy afectados por los accidentes topográficos (principalmente arroyos) y el valor de fondo o nivel medio no permanece constante por lo que es muy difícil establecer rangos de variación de las anomalías. Se efectuó en forma similar a los datos de PI una correlación lateral de anomalías que nos forma trazas las cuales nos indican la presencia de estructuras resistivas, o bien, depresiones topográficas como arroyos.

En la lámina 5 de trazas de resistividad se observa que la mayoría de trazas resistivas corresponden a arroyos, observándose úni

camente una buena correlaci3n de trazas de PI con trazas de Resistividad en las vetas Azteca, Zapoteca y Gloria, lo que hace pensar de la existencia de cuarzo o una silificaci3n intensa en las estructuras.

En la configuraci3n de Resistividad (l3mina 6), se observan --
unicamente zonas an3malas de alta resistividad ocasionadas princi--
palmente por arroyos.

III.3.- Método TURAM

III.3.1) Aspectos Teóricos

III.3.1.1) Fundamentos

El origen del método se debe al sueco Helmer Hedström (1937), siendo ésta una técnica de inducción electromagnética, tiene su principal aplicación en la prospección minera en la búsqueda de cuerpos de sulfuros metálicos conductores.

Las mejores respuestas se obtienen cuando se presenta un contraste suficientemente grande en la conductividad entre la roca encajonante y la estructura mineralizada, especialmente cuando la mineralización es masiva y homogénea. También se obtienen buenos resultados en la localización de cuerpos de grafito y magnetita, así como también en fallas o fracturas.

En general, este método se basa en la teoría de la inducción de campos electromagnéticos originados por el flujo de corrientes alternas a través de cables (bobinas, cables rectos, etc.); esto es, cuando un campo electromagnético alterno se propaga a través del subsuelo, induce otras corrientes eléctricas en cualquier conductor que atraviese en su camino. Estas corrientes, llamadas se-

cundarias, fluyen en direcciòn tal que su campo magnético se opone al campo inductor. Cuando el campo secundario se extiende en el espacio, el campo total difiere en cualquier punto del campo producido por la bobina transmisora (campo primario), èsto se visualiza en la fig. 3.1.

La intensidad de las corrientes inducidas depende, entre -- otros factores, de la resistividad del conductor y de la frecuencia del campo primario. Generalmente, las corrientes son mäs intensas entre menor sea la resistividad y mayor la frecuencia.

III.3.1.2) Tipos de Transmisores

Existen dos modalidades: la de cable aterrizado y la de bobina aislada o malla (fig. 3.2).

La primera se ocupa en trabajos de reconocimiento, por la facilidad y rapidez de operaciòn; ademàs de que las respuestas son mäs intensas definiendo mejor en algunos casos los cuerpos conductores. Sus inconvenientes son la presencia de corrientes galvànicas ademàs de las inductivas, y su interpretaciòn es mäs complicada.

Para los trabajos de detalle e interpretaciòn, se usa la moda

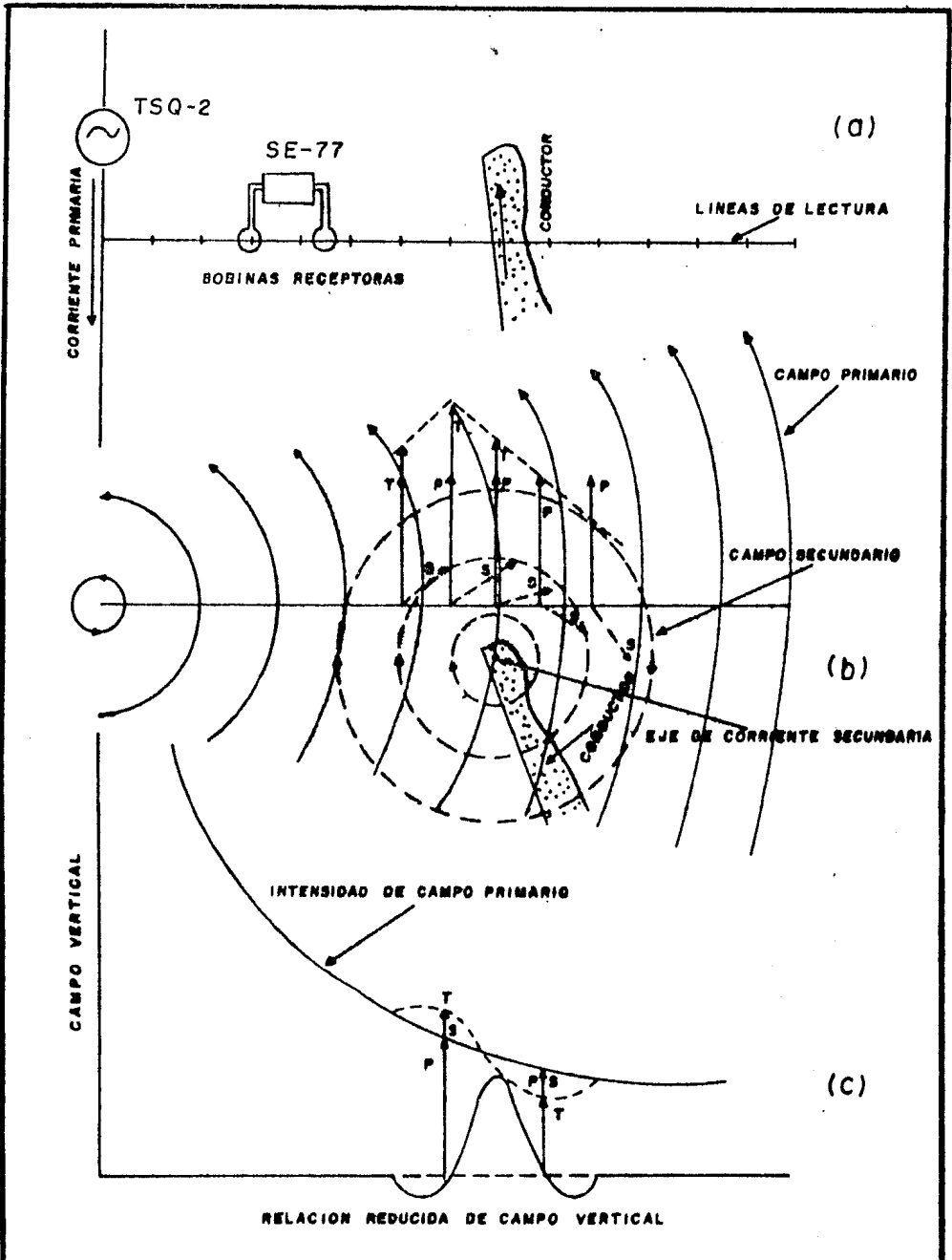
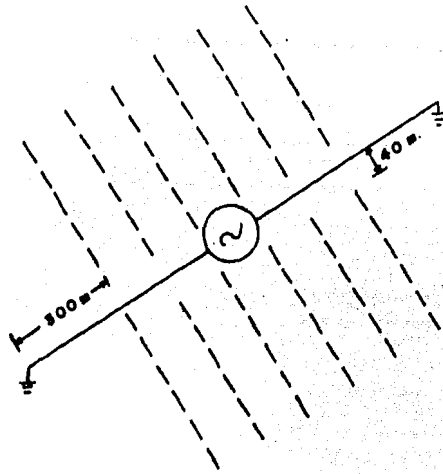
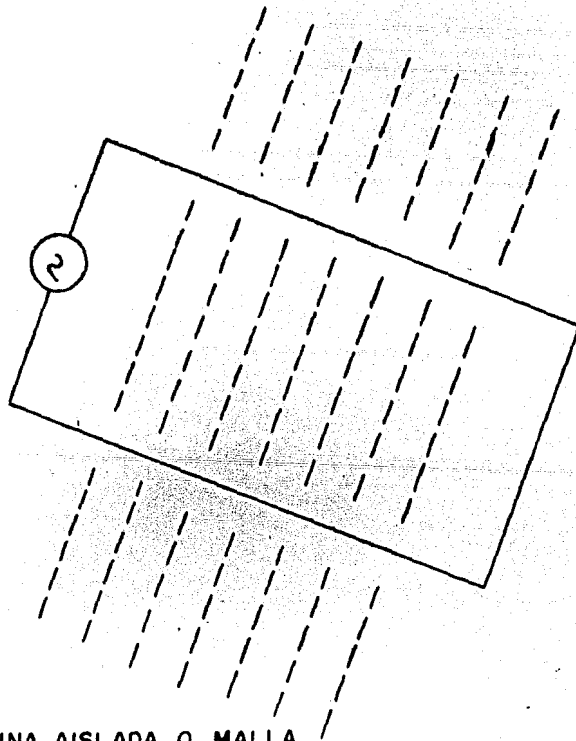


Fig.3.1 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS CAMPOS PRIMARIO Y SECUNDARIO



a) CABLE ATERRIZADO



b) BOBINA AISLADA O MALLA

Fig.3.2 TIPOS DE TRANSMISORES

lidad de bobina aislada, en la que se puede realizar medidas dentro y fuera de ellas. Se llevan a efecto en el exterior cuando el echado de la estructura de interés es muy fuerte y adentro de la malla cuando el echado es casi horizontal.

Tanto en la modalidad de cable aterrizado como en la de bobina, con lecturas fuera de ella, la ubicación del transmisor debe ser tal que el cable o el lado mayor de la bobina sea paralelo al rumbo de la estructura y de longitud igual o mayor a ésta, con el fin de que las líneas de lectura la crucen perpendicularmente y resalten más las anomalías.

De igual forma, el transmisor debe de situarse del lado donde se localice el borde superior de la estructura, cuando ésta sea de fuerte echado, con la finalidad de resaltar este borde ya que es aquí donde se concentra la corriente inducida.

III.3.2) Procesamiento y presentación de los datos

Una vez obtenidos y anotados los datos de campo, R_i y $\Delta\psi_i$, $i = 1, 2, \dots, n$; donde n es la estación final correspondiente a un perfil, se procede a calcular la variación sobre el de la componente estudiada. Para esto se le atribuye el valor de 100 ÷ 1 para -

la relación y de 0° para la diferencia de fase, al punto más próximo al cable, obteniéndose de un modo relativo:

$$\left| H_1 \right| = 100 \qquad \left| H_2 \right| = \frac{100}{R_1}$$

Generalizado:

$$\left| H_i \right| = \frac{\left| H_{i-1} \right|}{R_{i-1}}$$

Y para las desfases:

$$\varphi_1 = 0 \qquad \varphi_2 = \Delta\varphi_1$$

Generalizado:

$$\varphi_i = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta\varphi_j = \varphi_{i-1} + \Delta\varphi_{i-1}$$

Todas las desfases diferentes de cero se consideran anómalas debido a que el desfasamiento normal es nulo (en la hipótesis del subsuelo aislante). En cambio, no se puede decir lo mismo de las relaciones ya que éstas no demuestran su carácter normal o anómalo. Para resaltar las anomalías, en la práctica se acostumbra dividir la relación observada entre la relación normal, obteniéndose las relaciones reducidas:

$$RR_i = \frac{R_i}{R_{N_i}}$$

Para la obtención de los campos reducidos se tendrá:

$$\left| H_R \right| = \frac{\left| H_{R_{i-1}} \right|}{RR_{i-1}}$$

Las relaciones normales son obtenidas calculando la intensidad del campo primario para un transmisor ubicado en un espacio libre. La intensidad depende de las dimensiones del transmisor y de la posición respecto a él de las bobinas receptoras.

La corrección por espacio libre consiste en hacer que la intensidad del campo magnético primario sea uniforme con la distancia al transmisor. Para ello, se obtiene un "Factor de normalización K" con el cual se logran referir todas las lecturas al nivel antes mencionado, y la relación del valor normalizado debe ser igual a 1 en la comparación de dos puntos de lectura cualquiera.

Además de corregir los datos de campo en base a una consideración del espacio libre, la cual suele hacerse en base a una suposición de homogeneidad e isotropía del terreno en un modelo de semi-espacio, también se hace la corrección considerando la rugosidad del terreno (Cuevas Covarrubias A. Tesis Profesional, 1982).

Las relaciones de campo obtenidas pueden descomponerse en su parte real e imaginaria, con la finalidad de llevar a efecto una buena interpretación de las anomalías.

$$\text{Re } H_{Ri} = |H_{Ri}| \text{ Cos } \varphi_i$$

$$\text{Im } H_{Ri} = |H_{Ri}| \text{ Sen } \varphi_i$$

Los datos de campo corregidos por espacio libre (y por topografía, en algunos casos) pueden presentarse gráficamente en forma de perfiles de relación y desfases a lo largo de la línea de estudio, y en planta como mapas de líneas isofásicas o de relación reducidas.

III.3.3) Interpretación

La interpretación de los datos geofísicos consiste en expresar éstos en términos de probables estructuras geológicas. Para ello es importante diferenciar las anomalías de interés de aquellas que no lo son y que se deben principalmente a ruidos geológicos, topográficos, operacionales, etc., por lo que es necesario recopilar toda la información posible del área.

Las anomalías pueden ser causadas por cuerpos que estén asociados a algún tipo de yacimiento mineral y por cuerpos que no tengan interés de acuerdo con el objetivo geológico que se persigue. Para esto hay que considerar que, si existe un mayor contraste entre las propiedades físicas del cuerpo de interés y su roca encajante, la respuesta será más intensa; además, las dimensiones del-

cuerpo y en general la geometría, influirá notoriamente en la respuesta, por lo cual es de primordial interés contar con una buena información geológica.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, podemos mencionar dos formas de interpretación que son: la interpretación cuantitativa y la cualitativa.

La Interpretación Cuantitativa se realiza por medio de modelado físico y modelado matemático.

El modelado físico consiste en lo siguiente:

en los experimentos de laboratorio, las menas minerales son simuladas por modelos de materiales conductores a una escala adecuada a las dimensiones que se dispongan en el laboratorio. Con la escala adecuada es posible simular exactamente la configuración de las líneas de fuerza, con lo cual se puede analizar la geometría del campo resultante y la relación de las componentes del campo magnético total; las curvas de los resultados obtenidos en el laboratorio, son aplicadas por comparación a las anomalías de campo. O sea que este tipo de interpretación consiste en deducir información del cuerpo o estructura a partir de la anomalía de campo, postulando -

en forma indirecta un modelo geológico con base en el conocimiento que se tenga del área, calcular la anomalía que produciría y compararla con la observada hasta obtener una concordancia aceptable.

Los resultados que pueden obtenerse normalmente, son una estimación de la profundidad del cuerpo, una idea aproximada de su forma y posición y, algunas veces, un parámetro que involucre el factor de contraste de propiedades físicas.

El modelado matemático se realiza por medio de una computadora calculando el efecto que corresponde a un modelo geológico simple.

En la Interpretación Cualitativa sólo se requiere reconocer - ya sea la anomalía y su extensión superficial, o bien, tendencias, gradientes o patrones determinados de anomalías que por experiencia se sabe que están asociadas a cierto tipo de yacimientos o a rasgos geológicos.

Orellana (1974) menciona varias reglas prácticas que sirven para una primera interpretación cualitativa y son las siguientes:

a) Los ejes de las concentraciones de corriente se localizan-

bajo los máximos de relación reducida y bajo los mínimos de diferencia de fase.

b) Calculadas las partes real e imaginaria de la componente estudiada (horizontal o vertical), los ejes de las concentraciones de corriente se encuentran bajo los puntos de inflexión de la Componente Vertical o bajo el máximo de la Horizontal.

c) Si el máximo de la componente vertical está más cerca del cable que el mínimo, el cuerpo buza hacia éste y se aleja de él -- cuando sucede lo contrario. Al aumentar la frecuencia, el eje se desplaza en contra del buzamiento.

d) El rumbo y longitud del cuerpo conductor se determinan sobre el mapa, uniendo las posiciones halladas para el eje de la concentración de corriente en todos los perfiles en que se halla detectado.

e) Cuando existen varios conductores próximos entre sí, cada uno de ellos produce una inflexión en la curva de la componente -- Vertical. Tales inflexiones pueden ser debidas también a cambios de conductividad dentro de un cuerpo extenso.

f) Si el transmisor o emisor es del tipo puramente inductivo, la conductividad puede estimarse cualitativamente. Cuando la anomalía de fase es pequeña o mediana y la de relación nula o muy pequeña, la conductividad es pobre. Los cuerpos de conductividad media presentan anomalía de relación pequeña y grande en la fase. - Los conductores óptimos originan intensas anomalías de relación y pequeñas las de fase.

g) Las anomalías de poca importancia se presentan en frecuencias altas y son casi inapreciables en la frecuencia menor por lo que deben desecharse en general, como correspondientes a conductores superficiales sin interés económico.

III.3.4) Equipo Empleado

El equipo necesario para efectuar un levantamiento con el método de TURAM consiste por una parte del emisor y por otra de receptor.

EMISOR: lo forma el motor-generator, el cable aislado con el cual se forma el circuito primario para crear el campo primario y una caja de control que va conectada entre el motor-generator y el cable aislado (transmisor) y sirve para la selección de frecuencias.

RECEPTOR: formado por dos bobinas conectadas entre sí por medio de un puente o compensador, siendo la finalidad de éste determinar la relación entre las amplitudes de los campos captados por cada una, así como su diferencia de fase.

III.3.5) Trabajos realizados

Este levantamiento se llevó a efecto sobre 53 líneas orientadas al N32°W. La longitud de las líneas fue de 1 Km., con separación entre ellas de 50 m. y lecturas cada 20 m. Se empleó la modalidad de "cable largo aterrizado" (fig. 3.2); el transmisor se tendió sobre la línea base (estaciones 54.20), para leer hacia ambos lados; las frecuencias utilizadas fueron 945, 315 y 105, empleando se éstas como fundamentales.

Una vez obtenidos y corregidos por espacio libre los datos de campo, se procedió a la elaboración del plano (escala 1:2,000) de gráficas en planta (lámina 7), tomando la línea como eje y graficando la relación y la fase a las frecuencias 945 y 105.

III.3.6) Resultados Obtenidos

Los datos obtenidos con el método electromagnético (EM) Turam (lámina 7), se analizaron en forma similar a el método de PI, es -

decir, se clasificaron los valores altos de Relación y Fase en - - tres categorías: de primero, segundo y tercer orden. Los valores anómalos de primer orden se consideraron en Relación mayores de - 120 unidades y en Fase menores de -10° ; las anomalías de segundo - orden se consideraron en un intervalo entre 112 y 120 unidades para Relación y entre -7° a -10° de Fase; las anomalías de tercer -- grado se clasificaron como las de intensidad menor de 112 unidades para Relación y mayores de -7 para Fase.

Las anomalías de Turam son ocasionadas por zonas o cuerpos -- que presentan una resistividad menor que la resistividad de la roca encajonante; en este levantamiento se deben a dos causas principales que son:

1) Zonas de intenso fracturamiento o fallas con presencia de minerales arcillosos con humedad que ocasionan zonas muy conductoras con respecto a la conductividad de la roca encajonante.

2) Estructuras tabulares (vetas) conteniendo sulfuros metálicos en forma masiva (clavos o lentes) que nos forman cuerpos altamente conductores.

La correlación lateral de anomalías de Turam nos forma trazas

que nos indican en forma similar a el método de PI, la presencia - de estructuras pero con sulfuros metálicos en forma masiva y/o zonas de falla o fracturamiento, como se observa en la lámina 7.

IV.- INTEGRACION DE DATOS

Las trazas mencionadas en este capítulo se seleccionaron principalmente en base a las anomalías de PI y Turam, siendo las más importantes las correspondientes a las vetas Azteca, Zapoteca, Gloria, Felipe y Tórtolas. También se hacen recomendaciones de efectuar estudios de detalle sobre estas anomalías con el fin de obtener parámetros óptimos de profundidad, echado y potencia de las estructuras.

IV.1. Integración de la información

Las trazas anómalas de PI, Resistividad y Turam se integraron en un solo plano (lámina 8) con el objeto de tener un panorama más general de los resultados obtenidos. Se describen en este inciso las principales trazas anómalas obtenidas, basándose la selección principalmente, en los resultados de PI y Turam, ya que con Resistividad únicamente en las vetas Azteca, Zapoteca y Gloria se observa una correlación con los datos de PI.

En la lámina 8 se observan interrupciones, desplazamientos y cambios locales de tendencia (o rumbo) en las trazas anómalas, ocasionados por fallas con desplazamientos horizontales. Se observa además, en muchos casos, cambios bruscos en las respuestas geofísicas, es decir, desaparecen las anomalías de PI y se obtienen anoma-

lias de Turam, en un mismo alineamiento, debido posiblemente a fallas con movimientos verticales que ocasionan que, a un mismo nivel topográfico, se tengan diferentes formas de distribución de minerales (mineralización diseminada, masiva o ambos casos). Debido a las interrupciones, desplazamientos y cambios bruscos de la respuesta geofísica en las trazas, estas se clasificaron por grupos infiriendo que cada grupo corresponde a una estructura.

TRAZA AZ₁ (Veta Zapoteca II)

Esta traza se localiza en el bloque B, observándose de la línea 16.50 a la línea 24.50, entre las estaciones 58.0 y 59.0, manifestándose en una longitud de 800 m.

Esta traza está formada principalmente por anomalías de primer orden de PI (intensas y bien definidas), observándose en toda su extensión una respuesta geofísica muy homogénea, es decir, una intensidad y forma de las anomalías muy similar; se detectó, además, con Resistividad una traza que coincide en la mayor parte con la traza de PI. Por las respuestas geofísicas, o sea, respuestas intensas de PI y alta Resistividad se infiere una estructura formada por cuarzo, o se tiene una intensa silificación con sulfuros polarizables en forma diseminada; se infiere también una falla asociada a la veta en la porción Oeste de este bloque, ya que se obtuvo una --

traza anómala de Turam.

Se observan en esta traza algunos desplazamientos y cambios locales de tendencia, lo que nos indica un afallamiento de las estructuras mineralizadas. Geológicamente, esta traza se correlaciona -- con la veta Zapoteca II, observándose en superficie una intensa oxidación con rodados y algunos afloramientos de cuarzo. Por la homogeneidad de la respuesta geofísica y por las características similares que se observan a lo largo de la traza, es posible que se tengan valores de oro en toda su extensión.

TRAZA AZ₂ (Veta Azteca II)

Esta traza se observa en el bloque B, al Sur de la traza AZ₁, - de la línea 16.0 a la línea 25.50, y entre las estaciones 56.40 a - 57.0, manifestándose con una longitud de 750 m.

Se observa a lo largo de toda esta traza una respuesta de PI - muy homogénea, similar a la obtenida en la traza AZ₁. En la porción Oeste de esta traza, o sea de la línea 16.0 a la línea 18.5, - se observa que en la traza, aun cuando conserva su tendencia o rumbo general, presenta muchas deflecciones, debido a un intenso afallamiento que ocasiona cambios locales de rumbo en la veta; el resto de la traza presenta un alineamiento más uniforme debido a un me

nor afallamiento en la veta.

Se observa además, que la traza de PI se correlaciona en casi-toda su extensión con trazas de Resistividad, lo que indica una estructura de cuarzo, o bien, una intensa silificación con sulfuros -diseminados. Se observan también algunas trazas de Turam en los ex-tremos de las trazas de PI y Resistividad, debidas posiblemente a -fallas que corren paralelas a la estructura mineralizada.

Geológicamente, esta traza se correlaciona con la veta Azteca-II, la cual se manifiesta superficialmente con amplias zonas de oxi-dación, rodados y algunos afloramientos de cuarzo; en base a la res-puesta geofísica, que es muy homogénea en toda la traza y a las características geológicas, es posible que tenga valores atractivos -de oro en toda su extensión.

TRAZA AZ₃

Localizada de la línea 16.0 a la línea 19.0 y entre las esta--ciones 55.20 y 55.80, manifestándose con una longitud de 300 m. Es-ta traza está formada principalmente por anomalías de Turam de se--gundo orden, observándose en su porción Oeste una correlación con -trazas de PI de segundo y primer orden.

Se infiere que esta traza es ocasionada por sulfuros diseminados en la porción Oeste y por sulfuros más formales en la porción Este, o bien, se tenga únicamente una falla con gran contenido de minerales arcillosos con humedad.

Esta traza se correlaciona con zonas de mediana o poca oxidación, observándose afloramientos de vetas.

TRAZAS AZ_{4.1}, AZ_{4.2}, AZ_{4.3} y AZ_{4.4}.

Este grupo de trazas está situado en la porción Central Oeste del área estudiada y al Sur del bloque B, localizándose de la línea 13.5 a la línea 23.5, y entre las estaciones 54.20 y 55.0, teniendo una longitud total de 1,000 m.

Las trazas de este grupo conservan el rumbo general de las demás trazas detectadas (NE-SW), observándose en ellas cambios locales de tendencia y desplazamientos de más de 20 m., lo que ocasionó que se dividieran en 4 tramos principales (4.1, 4.2, 4.3 y 4.4). - Estas trazas están formadas por anomalías de PI de segundo y tercer orden, observándose en algunos tramos de las trazas AZ_{4.1} y AZ_{4.2} - una correlación con trazas de Resistividad. Por las características geofísicas y principalmente por la baja intensidad de las anoma

llas de PI, se infiere que estas trazas son ocasionadas por estructuras con poco contenido de sulfuros diseminados en las vetas, o bien, por sulfuros masivos dentro de las estructuras y estas están fuertemente afectadas por fallas que ocasionan los cambios locales de rumbo y los desplazamientos que se observan en las trazas geofísicas, además en las zonas donde se observan anomalías de Resistividad es posible que se tenga cuarzo o bien exista una fuerte silificación.

TRAZAS AZ_{5.1}, AZ_{5.2}, AZ_{5.3}, AZ_{5.4} y AZ_{5.5} (Veta Rocío)

Este grupo de trazas se observa en la porción Sur-Oeste del área y se localiza de la línea 96.0 a la línea 27.5, entre las estaciones 51.0 a 54.0, manifestándose con una longitud de 1,750 m. La tendencia o rumbo general de este grupo de trazas difiere un poco de las trazas anteriormente descritas, ya que se manifiesta con una mayor tendencia hacia el Sur-Este, observándose en la lámina , que tiende a unirse o es posible que se una en su extremo Este (entre las líneas 27.5 y 29.5), con la traza AZ_{6.5} de la veta Tortolas.

Estas trazas se observan con cambios muy significativos de intensidad, cambios locales de rumbo y desplazamientos ocasionados por fallas con movimientos verticales y horizontales.

Este grupo de trazas està principalmente formado por anomalias de PI, excepto la traza AZ_{5.5} que està formada por anomalias de Turam. Se observa, ademàs, que en este grupo las anomalias de PI mäs intensas se tienen en la porciòn Oeste (en la traza AZ_{5.1}) disminuyendo e inclusive desaparecen hacia la porciòn Este, obteniéndose anomalias de Turam como se observa en la traza AZ_{5.5}.

En base a los resultados obtenidos, se infiere que estas trazas son ocasionadas por una estructura que, debido a fallas con desplazamiento vertical, sufre cambios en la distribución física de los minerales polarizables y conductores a lo largo de la misma, ya que la alta intensidad de las anomalias de PI en la traza AZ_{5.1}, es posiblemente ocasionada por una gran diseminaciòn de sulfuros polarizables en la estructura y las respuestas de menor intensidad (segundo y tercer orden) que se observan en las trazas AZ_{5.2}, AZ_{5.3} y AZ_{5.4} son ocasionadas por un contenido menor de sulfuros diseminados, o bien, se tienen sulfuros mäs formales (o masivos) en la estructura.

La traza AZ_{5.3} se correlaciona con la veta Rocío, la cual se manifiesta en las partes topogràficamente mäs altas, con mediana oxidaciòn y en los arroyos con una oxidaciòn mäs intensa, con algunos afloramientos de cuarzo y poca pirita diseminada dentro de la -

estructura.

Con respecto a la traza AZ_{5.5}, ésta se correlaciona con la veta Bertha, la cual se manifiesta con afloramientos de cuarzo de 1 m. de potencia, con evidencia de sulfuros; por la respuesta geofísica (anomalías de Turam), se infiere que la estructura contiene sulfuros de tipo masivo en forma de clavos o bolsas, o bien, la estructura contiene muy pocos sulfuros y ésta se asocia a una falla con minerales arcillosos.

Se observan además, trazas de Turam en los flancos de las trazas de PI, que nos indican la presencia de fallas que corren paralelas a las estructuras mineralizadas.

TRAZAS AZ_{6.1}, AZ_{6.2}, AZ_{6.3}, AZ_{6.4}, AZ_{6.5}, AZ_{6.6}, AZ_{6.7} y AZ_{6.8}
(Veta Tórtolas)

Este grupo de trazas se localiza en la porción Sur del área estudiada, manifestándose de la línea 98.50 a la línea 37.0, entre las estaciones 50.0 a 52.0. Este grupo es el de mayor longitud de los detectados, ya que se observa con una longitud de 2,650 m.

Este grupo de trazas está formado por anomalías de PI y Turam,

obteniéndose trazas de PI en los extremos del área, observándose -- esta situación en la porción Oeste, donde se tienen anomalías muy intensas en la traza AZ_{6.1}, y en la porción Este donde se obtuvieron anomalías de mediana y baja intensidad en las trazas AZ_{6.6}, - - AZ_{6.7} y AZ_{6.8}. Las trazas de Turam se observan en la porción Central, en las trazas AZ_{6.2}, AZ_{6.3}, AZ_{6.4} y AZ_{6.5}, obteniendo las respuestas más intensas y mayor definidas en la traza AZ_{6.2}, entre las líneas 17.5 y 21.0 como se observa en la lámina . En la traza - - AZ_{6.5} únicamente se observa en 200 m. anomalías de Turam, en el resto de la traza no se obtuvo respuesta geofísica debido a un contenido muy pobre de minerales conductores (sulfuros metálicos o arcillas con humedad).

Por las características geofísicas, se infiere que en las porciones extremas de este grupo de trazas se tienen sulfuros diseminados en la estructura, presentándose la mayor diseminación en la porción Oeste ya que es donde se obtienen las respuestas de PI más intensas. En la porción Central, o sea, donde se tienen respuestas de Turam, se infiere una estructura con sulfuros masivos (clavos o bolsas), teniendo su mayor concentración en la traza AZ_{6.2}. En este grupo de trazas se interpretaron varias fallas, ya que se observan cambios muy notables de rumbo y desplazamientos muy fuertes en las trazas.

Estas trazas geofísicas se correlacionan geológicamente con la veta Tortolas, la cual se manifiesta en las partes bajas (arroyos)- por una estructura de cuarzo con sulfuros de plomo, hierro y cobre, siendo el más abundante el sulfuro de plomo (galena), el cual se -- presenta en forma masiva dentro de la estructura.

TRAZA AZ₇

Esta traza se localiza en el bloque C, de la línea 25.0 a la - línea 26.0, entre las estaciones 59.4 y 59.8. Esta traza es posi-- blemente ocasionada por efectos topográficos (partes altas), ya que se presenta en el flanco de la cima de un cerro, y en estas condi-- ciones generalmente se obtienen anomalías de Turam de gran intensi-- dad.

TRAZAS AZ_{8.1}, AZ_{8.2} y AZ_{8.3}

Este grupo de trazas se localiza en el bloque C, y se observan de la línea 26.0 a la 33.5, entre las estaciones 58.20 y 59.60, ma-- nifestándose con una longitud de 750 m.

Estas trazas están formadas por anomalías de Polarización Indu-- cida, en su mayor parte de tercer orden, o sea, de muy baja intensi-- dad, excepto la traza AZ_{8.1}, que está formada por anomalías de se--

gundo orden. Se observa además, trazas de Turam paralelas a las trazas de AZ_{8.1} y AZ_{8.3}, que son posiblemente ocasionadas por fallas o fracturas con humedad.

Las trazas de Polarización Inducida son ocasionadas posiblemente por estructuras con un bajo contenido de sulfuros diseminados dentro de la estructura o por sulfuros más formales o masivos. Superficialmente se observa en la zona donde tienen las respuestas geofísicas, zonas de oxidación con afloramientos de cuarzo.

TRAZAS AZ_{9.1}, AZ_{9.2}, AZ_{9.3} y AZ_{9.4} (Veta Felipe)

Este grupo de trazas se localiza en el bloque C, y se observa de la línea 24.5 a la línea 37.5, entre las estaciones 56.8 a 59.0.

En este grupo de trazas, conforme se avanza hacia el Este, debido a fallas, se observan desplazamientos hacia el Norte-Este, o sea que se observa una mayor tendencia de las trazas hacia el Norte con respecto a las trazas de las vetas Azteca o Zapoteca.

Este grupo de trazas está formado por anomalías de PI y Turam, presentándose las anomalías de PI en la porción Sur-Oeste (trazas AZ_{9.1} y AZ_{9.2}) y las anomalías de Turam en el tramo Norte-Este (tra

zas AZ_{9.3} y AZ_{9.4}). Se observa en estas trazas que del Oeste hacia el Este, las trazas de PI disminuyen en intensidad hasta llegar a desaparecer, obteniéndose posteriormente anomalías de Turam; esta situación puede ser ocasionada por un cambio en la distribución de minerales polarizables y conductores en la estructura, teniendo los sulfuros diseminados en la porción Sur-Oeste y los sulfuros masivos (en forma de clavos o bolsas) en la porción Norte-Este. Esta varia ción de la distribución de minerales es gradual, ya que en la traza AZ_{9.1} se piensa que se tiene una diseminación interna (posiblemente en menor cantidad que la que se observa en las vetas Azteca y Zapoteca).

En la traza AZ_{9.2} el contenido de sulfuros diseminados es pobre, y en las trazas AZ_{9.3} y AZ_{9.4} no se tienen sulfuros diseminados, pero es posible que se tengan en forma masiva, o bien, se tenga una falla con un gran contenido de arcillas de origen tectónico-con humedad.

Este grupo de trazas se correlaciona con la veta Felipe, la cual se manifiesta en la traza AZ_{9.1}, con una intensa oxidación; en la traza AZ_{9.2} con una oxidación pobre y en la traza AZ_{9.3} se manifiesta como una estructura tabular de cuarzo de poca potencia y bien definida con espectralita, pirita y galena.

TRAZAS AZ_{10.1} y AZ_{10.2} (Veta Liliiana)

Estas trazas se localizan en el bloque C y se observan de la línea 25.0 a la línea 32.0, entre las estaciones 55.60 y 58.0, manifestándose con una longitud de 700 m.

Las trazas de este grupo están formadas por anomalías de PI y Turam; las anomalías de PI se observan en la traza AZ_{10.1} y son de mediana y baja intensidad, y las anomalías de Turam se observan en la traza AZ_{10.2}; esta última traza se une en la línea 32.0 con la traza AZ_{9.3}.

Estas trazas se correlacionan con la veta Liliiana y posiblemente sean un ramal de la veta Felipe. En superficie se observa en la traza AZ_{10.1}, en el arroyo que se localiza entre la línea 25.0 y -- 25.5, una estructura de cuarzo de aproximadamente 6 m. de potencia con calcopirita, malquita y poca pirita.

En la traza AZ_{10.2} se observa una estructura de cuarzo con espectralita y sulfuros principalmente de fierro.

TRAZA AZ₁₁ (Veta Gloria)

Esta traza se localiza de la línea 24.5 a la línea 29.5, entre

las estaciones 54.2 a 55.40, observándose con una extensión de 500-
m.

Esta traza está formada por anomalías de PI, obteniéndose en la porción Central anomalías bien definidas y de gran intensidad -- (de primer orden) y en los extremos anomalías muy pobres, lo que -- nos indica que en la porción Central se tiene una gran diseminación de sulfuros y en los extremos, el contenido de sulfuros diseminados es muy bajo.

Esta traza se correlaciona con la veta Gloria, la cual se observa en su extremo Oeste con una potencia de aproximadamente 1.5 - cm., con sulfuros principalmente de fierro (pirita) y conforme se avanza hacia el Este se va presentando una oxidación que aumenta en amplitud e intensidad hasta manifestarse de varias decenas de metros en la porción Central, donde se observan además algunos afloramientos de cuarzo con escaso contenido de cristales de pirita dentro del mismo.

Además de las anomalías de PI se observan trazas anómalas de Resistividad y Turam, las trazas resistivas se observan en la porción Este y las de Turam en la porción Oeste. La presencia de trazas resistivas nos indica un gran contenido de cuarzo en la estruc-

tura y las trazas de Turam posiblemente sean debidas a una falla - asociada a la estructura.

Las características geológicas y geofísicas que se observan en la porción Central de esta veta, son muy semejantes a las que se -- presentan en las vetas Azteca y Zapoteca, lo que hace pensar que se tengan valores atractivos de oro en esta porción de la estructura.

TRAZA AZ₁₂ (Veta Alicia)

Esta traza se obtuvo en la porción Norte-Este del área estudiada, observándose de la línea 32.0 a la línea 35.0, entre las estaciones 55.60 y 56.60.

Esta traza está formada por anomalías de Turam, en su mayoría de primer orden (o sea intensas y bien definidas) localizándose en el flanco Sur-Este de la traza AZ_{10.2} (Veta Liliana) siendo además, sensiblemente paralela a ésta.

Esta traza se correlaciona geológicamente con la veta Alicia, - la cual se manifiesta superficialmente con crestos de cuarzo, con teniendo algunos sulfuros (principalmente pirita) y specularita. - Por la respuesta geofísica y las características geológicas, se in-

fiere que la veta Alicia contiene sulfuros en forma masiva (bolsas- o clavos), o bien, la estructura tiene muy poco contenido de sulfuros y està asociada a una falla con un gran contenido de sulfuros y minerales arcillosos de origen tectònico con humedad, los cuales -- pueden ocasionar las anomalias de Turam.

TRAZA AZ₁₃

Traza de poca longitud, situada al Sur-Este de la traza AZ₁₂,-- observàndose de la línea 33.5 a la línea 35.0, entre las estaciones 55.40 y 56.20, manifestàndose con una longitud de 150 m.

Esta traza està formada principalmente por anomalias de Turam, observàndose ademàs, en un tramo anomalias de PI de baja intensidad. Esta traza en su extremo Norte-Este tiende a unirse con la traza -- AZ₁₂, lo que hace pensar que se trata de un ramaleo de èsta. De - acuerdo con los resultados obtenidos, se infiere una estructura con sulfuros masivos con una aureola de poca disseminaciòn, o bien, se - trata de una falla con arcillas y humedad, con poco contenido de -- sulfuros disseminados.

TRAZAS AZ_{14.1} Y AZ_{14.2}

Estas trazas se observan al Sur de la traza AZ₁₁ (Veta Gloria)

de la línea 27.5 a la línea 31.5, entre las estaciones 53.0 y 54.0, manifestándose con una longitud de 400 m.

Estas trazas están formadas únicamente por anomalías de PI de baja intensidad (de 3er. orden) y son posiblemente ocasionadas por un bajo contenido de sulfuros diseminados en una estructura de tipo tabular, o bien, se tengan sulfuros poco formales o masivos.

IV.2. Conclusiones

1.- El levantamiento geofísico en general dio resultados satisfactorios, ya que se interpretaron estructuras de tipo tabular, con su rumbo general, cambios locales de tendencia (o rumbo), longitud, distribución de sulfuros (o sea en forma diseminada, masiva o ambos), desplazamientos verticales y horizontales ocasionados por fallas, etc.

2.- Se observa en forma general que las anomalías de PI disminuyen en intensidad conforme se avanza hacia el Norte-Este del área estudiada, por lo que se dividió en tres bloques denominados: A, B y C. El bloque A, que se localiza en la porción Sur-Oeste del área, es donde se tienen las respuestas de PI más intensas, lo que indica un alto contenido de sulfuros polarizables en forma diseminada en las estructuras. El bloque B, localizado en la porción Central del área, está formado por anomalías de primer orden, pero menos intensas que las que se observan en el bloque A, indicándonos un contenido intermedio de sulfuros de tipo diseminado en las estructuras. El bloque C, localizado en la porción Norte-Este del área, está formado por anomalías de baja intensidad (de segundo a tercer orden) que nos infiere un bajo contenido de sulfuros diseminados en las estructuras o bien se tienen sulfuros de tipo masivo.

3.- Se efectuò una integraciòn de datos de PI, Resistividad y Turam, observàndose una buena correlaciòn, principalmente con PI y Turam. En muchos casos se observa un cambio brusco del tipo de -- respuesta geofísica, es decir, cuando se tiene una traza de PI y -- èsta se cambia a una traza de Turam, posiblemente sea debida a una falla con movimiento vertical, lo que ocasiona que se tengan diferentes tipos de distribuciòn de minerales, ya que una traza de PI- es ocasionada por sulfuros de tipo diseminado y una traza de Turam por sulfuros de tipo masivo.

4.- Se clasificaron 14 grupos principales de trazas geofisi-- cas, de las cuales las màs importantes se consideran: AZ₁, que se correlaciona con la veta Azteca; AZ₂, con la veta Zapoteca; AZ₆, - con veta Tòrtolas; AZ₁₁ con veta Gloria; AZ₉, con veta Felipe; - - AZ₁₀, con veta Liliana y AZ₁₂ con veta Alicia.

5.- Las trazas AZ₁ (Veta Zapoteca II) y AZ₂ (Veta Azteca II), que se localizan en el bloque B con una longitud de 850 m. y de -- 800 m. respectivamente, se observan con caracterìsticas geològicas y geofìsicas muy similares en toda su longitud, lo que hace pensar que se tengan valores de oro en toda su extensiòn.

6.- La traza AZ₁₁ correspondiente a la veta Gloria, presenta-

en su porción Central características geofísicas y geológicas semejantes a las que se presentan en las vetas Azteca y Zapoteca en el bloque B, por lo que se infiere que esta traza (en su porción Central) es muy favorable para localizar valores atractivos de oro.

7.- El grupo AZ₆ de la veta Tórtolas es el más extenso del área, ya que se manifiesta con una longitud de 2,650 m., y presenta a lo largo de toda su extensión diferentes formas de mineralización, es decir, cambia de diseminada a masiva o se tiene en algunos casos una combinación de ambos.

8.- Se logra demostrar la gran utilidad que tienen los métodos geoelectricos en la exploración minera.

IV.3. Recomendaciones

1.- Efectuar un estudio geológico de Detalle en las trazas - AZ₃ a la AZ₁₄, para auxiliar en la interpretación geofísica.

2.- Efectuar un levantamiento geofísico de Detalle con arreglos de Bloques y Semigradientes múltiples (Komarov) en las trazas que se clasificaron, principalmente donde únicamente se obtuvieron trazas de Turam, con el objeto de determinar (en donde las condiciones geológicas lo permitan) potencia, echado, zonas de mayor -

contenido de sulfuros, etc., en las vetas.

3.- Continuar con el levantamiento geofísico de Semidetalle - de PI, Resistividad y Turam en la porción Norte de los Bloques A y B, con el objeto de localizar estructuras semejantes a las vetas - Azteca y Zapoteca.

4.- Efectuar en las zonas anómalas intensas de Polarización - Inducida que se observan en el Bloque A (continuación hacia el Oeste de las vetas Azteca y Zapoteca), zanja y/o barrenación, con el objeto de conocer el potencial de este tipo de anomalías.

BIBLIOGRAFIA

- | | |
|--|--|
| Anàlisis de los efectos topogràficos en el procesamiento de los datos del Método Turam | Cuevas Covarrubias Alejandro
Tesis Profesional (1982) |
| Electrical Methods in Geophysical Prospecting | George V. Keller
(Pergamon Press, 1966) |
| Estudio Geofísico con el método Electromagnético, sistema-Turam en vetas argentíferas - del distrito minero El Chico, Hgo. | Hernández Pérez Israel
Tesis Profesional (1977) |
| Estudio Geológico-Minero con énfasis en la Geología de Detalle del Área Pànico | Guereca Meza Raúl
Informe final (1983) |
| Experimental and Theoretical-Aspects of Induced Polarization | J. Bertin and J. Loeb
(Gebruder Borntraeger, 1976) |
| Exploración Eléctrica | IU. V. Iakubovskii L. L.
Liajov (Reverte, 1980) |
| Geofísica Aplicada | D. H. Griffiths R. F. King
(Paraninfo, 1972) |
| Geofísica Minera | D. S. Parasnis
(Paraninfo, 1971) |

Informe anual de la Coordinación de Estudios Especiales

I.P. for Exploration Geologists and Geophysicists

Polarización Inducida

Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration

Prospección Geoeléctrica Campos Variables

Tratado de Geofísica Aplicada

Varios
Consejo de Recursos Minerales -
(1983)

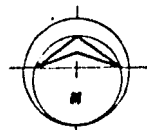
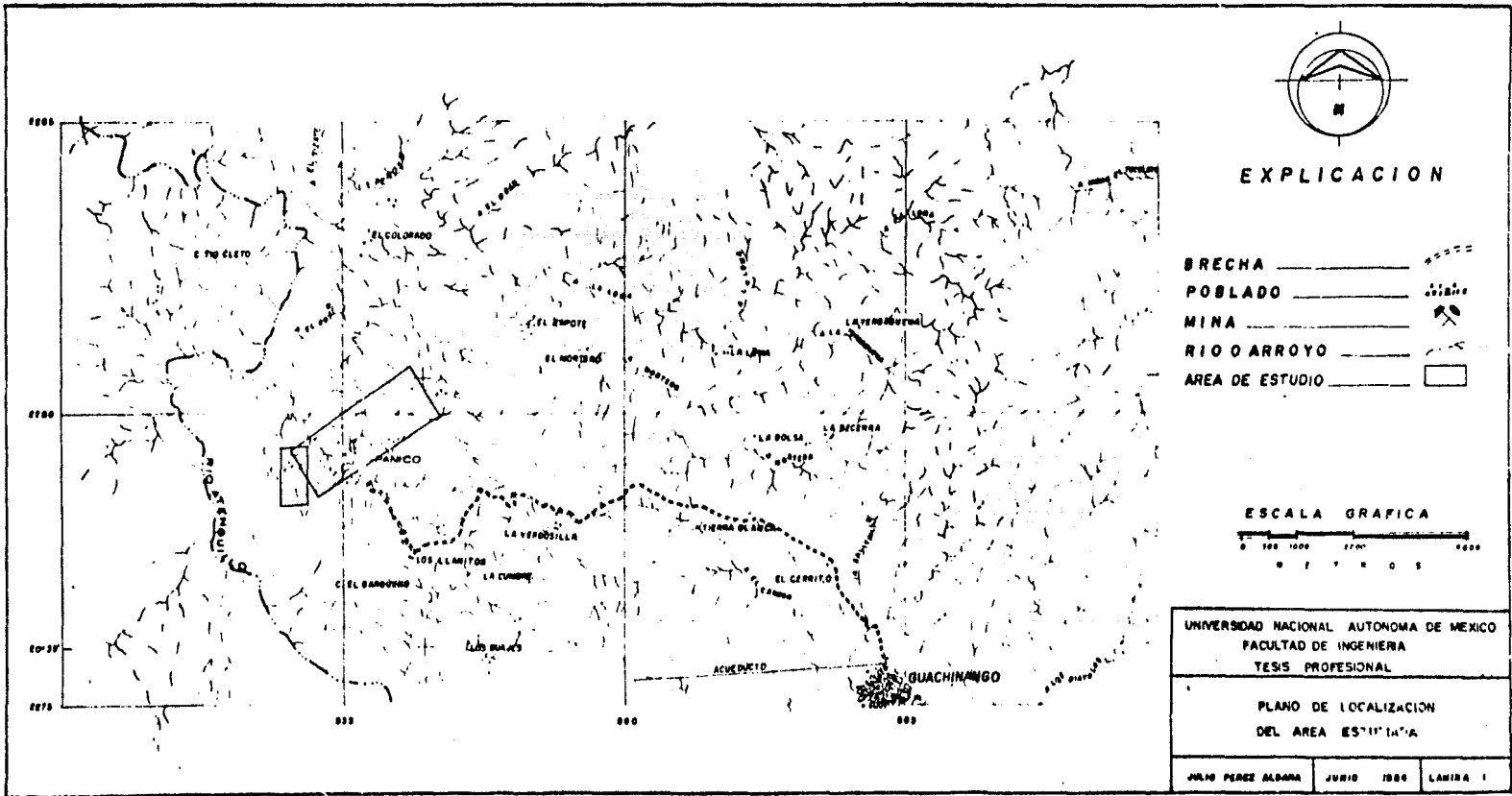
The University of Arizona (1977)

V. A. Komarov
Union Inst. of Expl. Techniques
Leningrado, U.R.S.S.

J. S. Summer
(Elsevier Scientific Publishing
Company, 1976)

Orellana Ernesto
(Paraninfo, 1974)

J. Cantos Figuerola
(Litoprint, 1978)



EXPLICACION

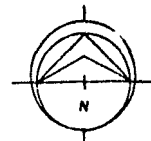
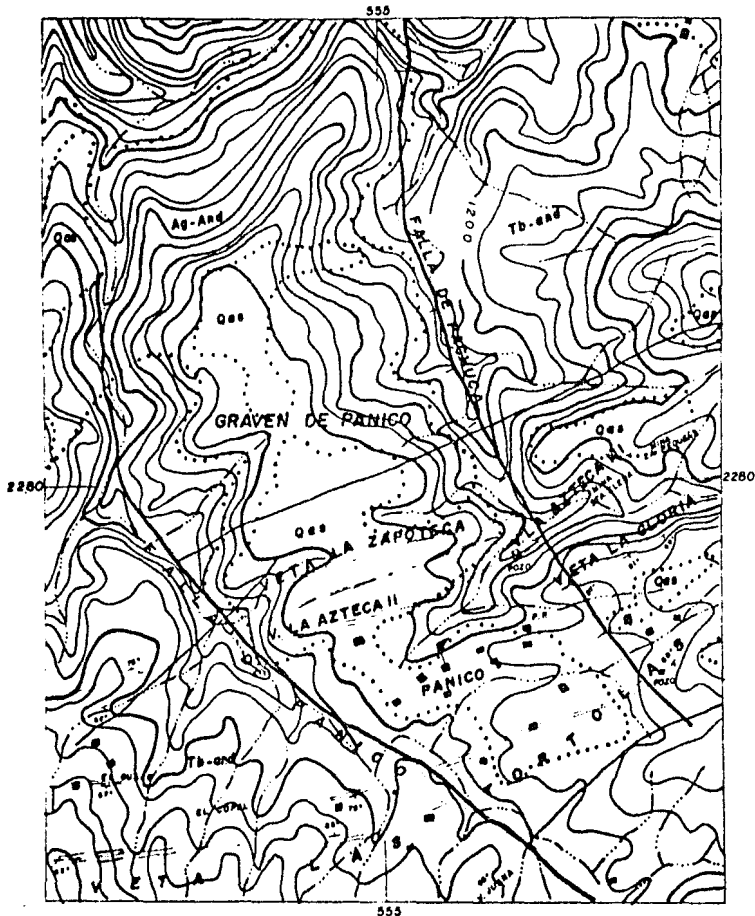
- BRECHA ————
- POBLADO ————
- MINA ————
- RIO O ARROYO ————
- AREA DE ESTUDIO ————



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL

PLANO DE LOCALIZACION
 DEL AREA ESTUDIADA

MILIO PEREZ ALBARRA JUNIO 1986 LAMINA I



EXPLICACION

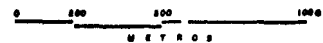
GEOLOGIA

- SUELO RESIDUAL (OXIDADO) Qes
- TOBA ANDESITICA Tb-And
- AGLOMERADO ANDESITICO Ag-And
- VETA MOSTRANDO ECHADO Veta
- FALLA NORMAL Fall
- FRACTURA Fract
- CONTACTO GEOLOGICO Cont

TOPOGRAFIA

- IGLESIA Igles
- ESCUELA Escu
- POBLADO Pobl
- ARROYO Arroy

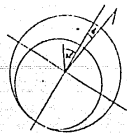
ESCALA GRAFICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL

PLANO GEOLOGICO REGIONAL MOSTRANDO
 EL BLOQUE HUNDIDO DE PANICO
 MPIO. DE GUACHINANGO JAL.

JULIO PEREZ ALDARA JUNIO 1984 LAMINA 2



EXPLICACION

TOPOGRAFIA

- LINEA DE LECTURA _____
- CAMINO _____
- ARROYO _____
- CATA _____
- BOCAMINA _____
- ZANJA _____
- VETA _____
- POBLADO _____
- BARRENO DE DIAMANTE _____

GEOFISICA

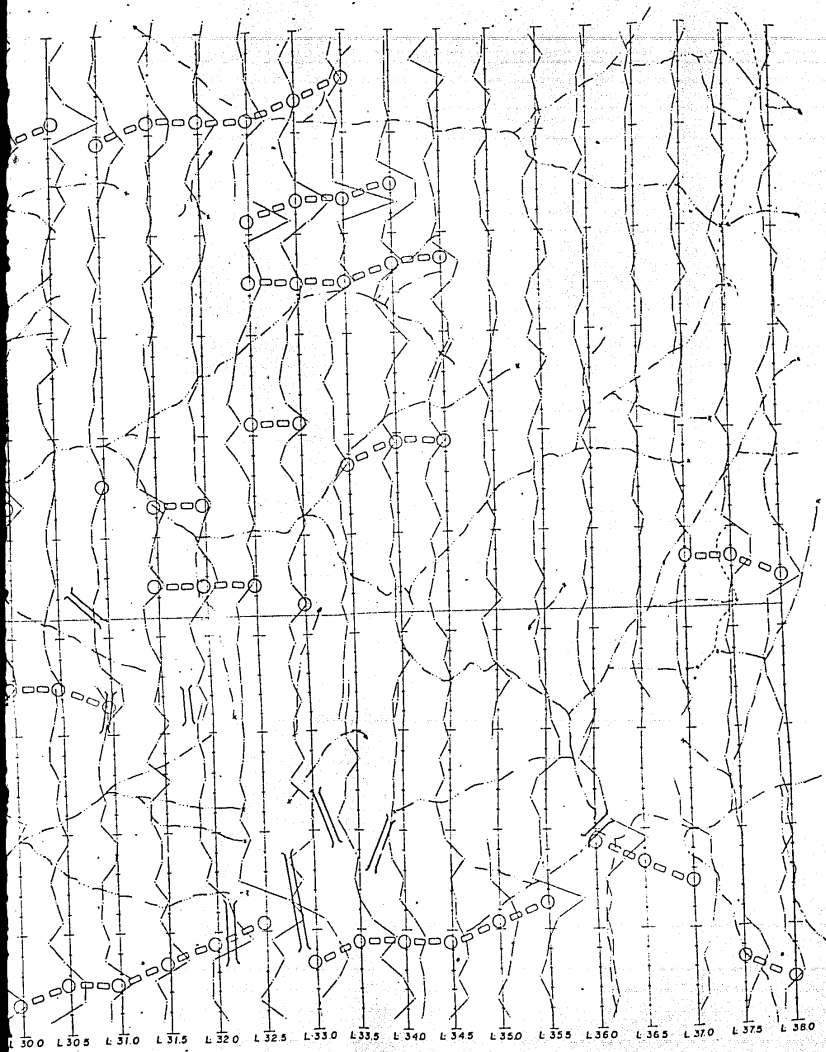
- FALLA INFERIDA CON GEOFISICA _____
- GRAFICAS DE CARGABILIDAD _____
- ANOMALIAS DE PRIMER ORDEN _____
- ANOMALIAS DE SEGUNDO ORDEN _____
- ANOMALIAS DE TERCER ORDEN _____
- TRAZAS ANOMALAS INTERPRETADAS _____

ARREGLO DE ELECTRODOS
 A MN B
 100M 100M
 MN=20M MN=20M

EQUIPO { TRANSMISOR IPC 7 (15 Kw)
 RECEPTOR IPR 8 (112 eqg)

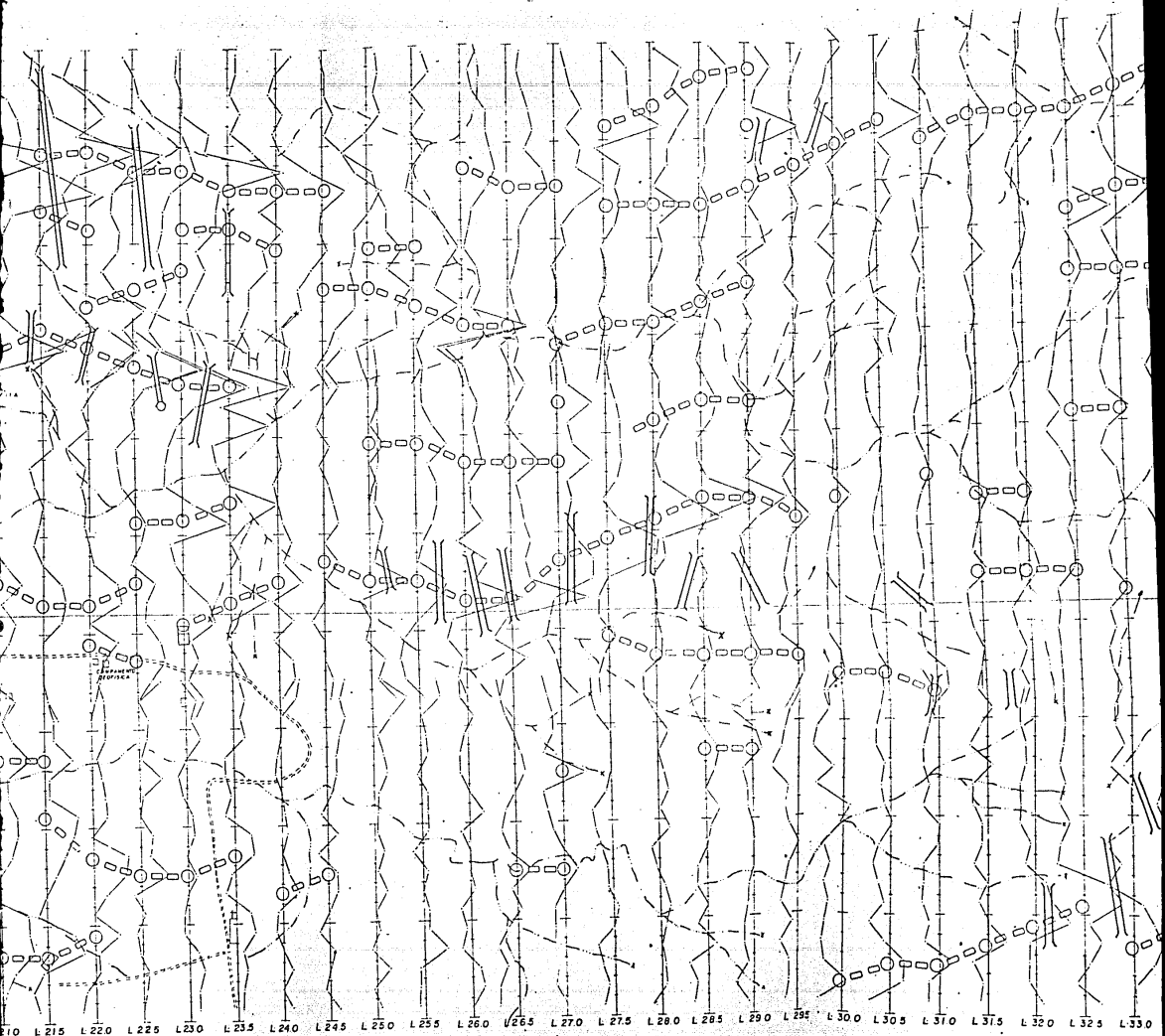
NIVEL DE FONDO 6 milisegundos
 RUMBO DE LAS LINEAS N32°W

ESCALA GRAFICA

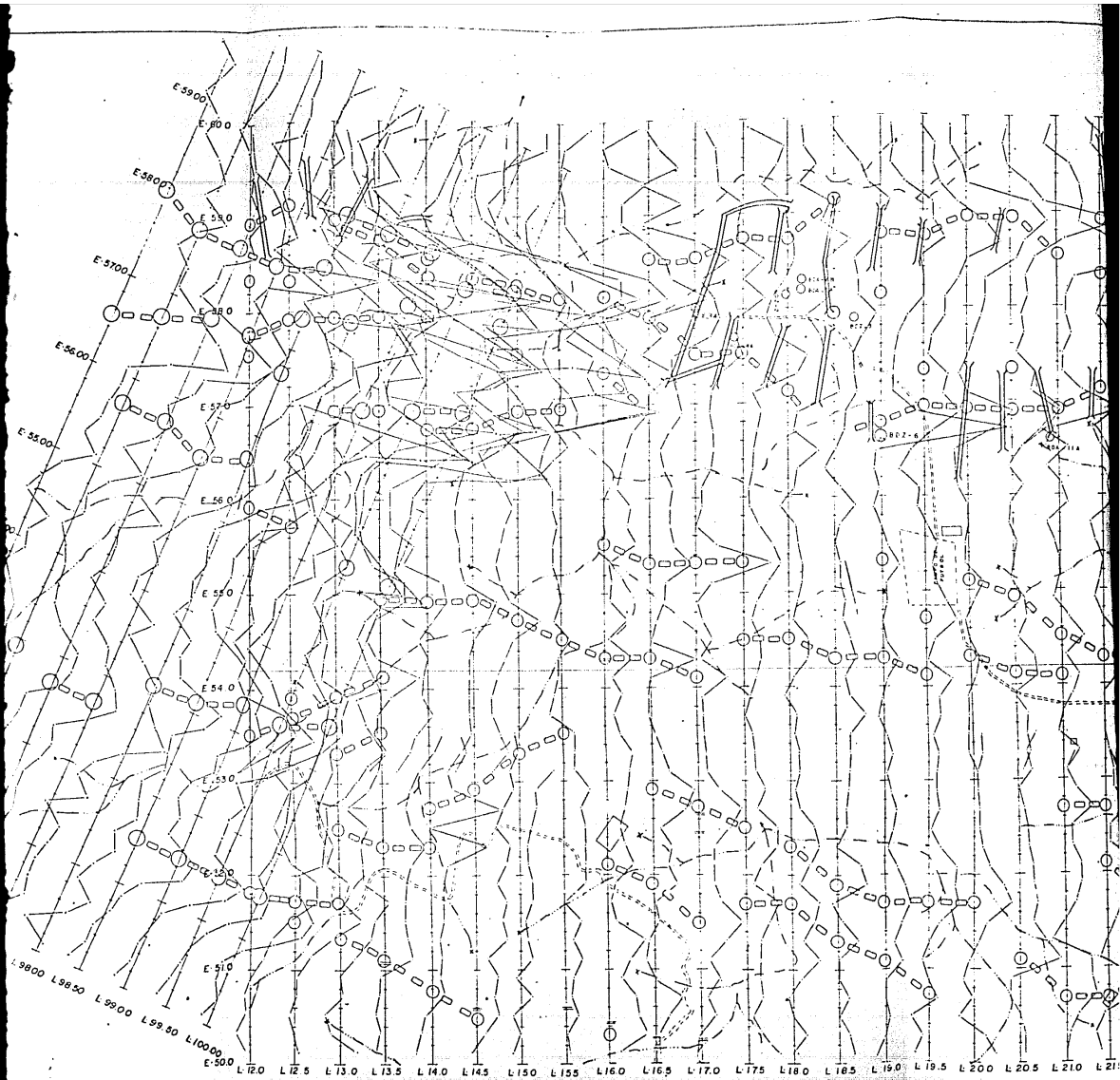


L 300 L 305 L 310 L 315 L 320 L 325 L 330 L 335 L 340 L 345 L 350 L 355 L 360 L 365 L 370 L 375 L 380

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 PLANO DE PERFILES DE CARGABILIDAD
 AREA: AZTECA-ZAPOTECA
 AÑO PERIC: ALCANA JUNIO 1982 LAMINA 3

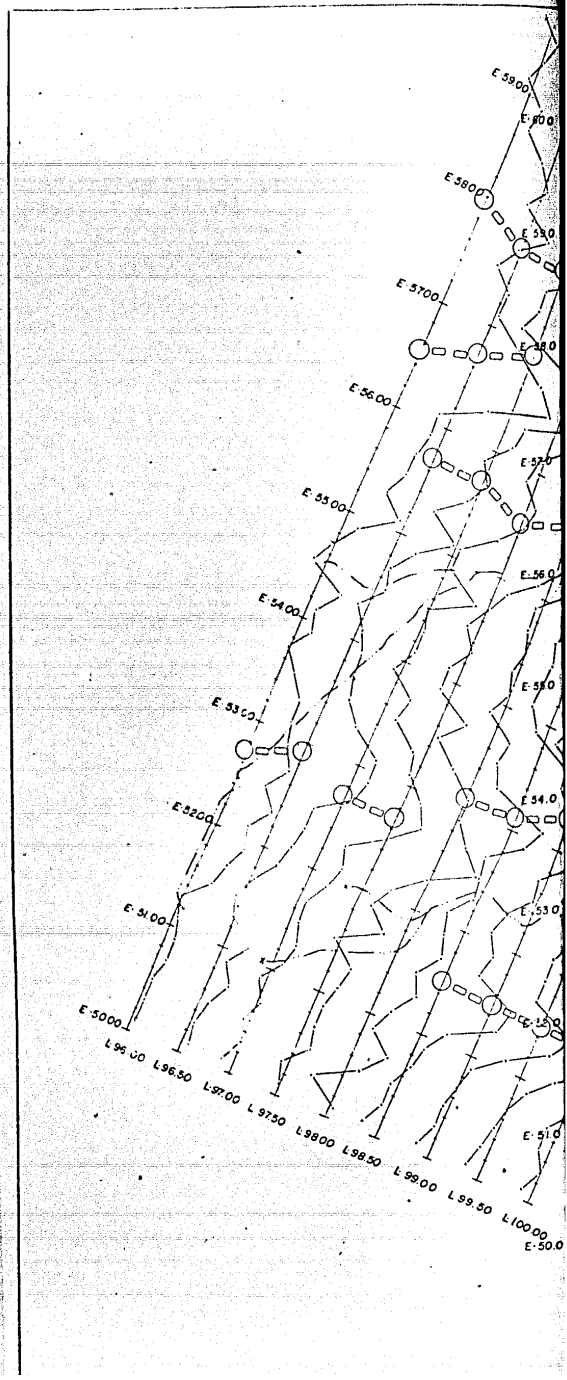


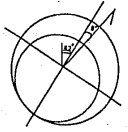
L 210 L 215 L 220 L 225 L 230 L 235 L 240 L 245 L 250 L 255 L 260 L 265 L 270 L 275 L 280 L 285 L 290 L 295 L 300 L 305 L 310 L 315 L 320 L 325 L 330



E-5900
E-5800
E-5700
E-5600
E-5500
E-5400
E-5300
E-5200
E-510

L-9800 L-9850 L-9900 L-9950 L-10000
L-120 L-125 L-130 L-135 L-140 L-145 L-150 L-155 L-160 L-165 L-170 L-175 L-180 L-185 L-190 L-195 L-200 L-205 L-210 L-215





EXPLICACION

TITULO

- LINEA DE LECTURA
- CAMINO
- ARROYO
- CATA
- BCCAMINA
- ZANJA
- VETA
- FOBLACO
- BARRENO DE DIAMANTE

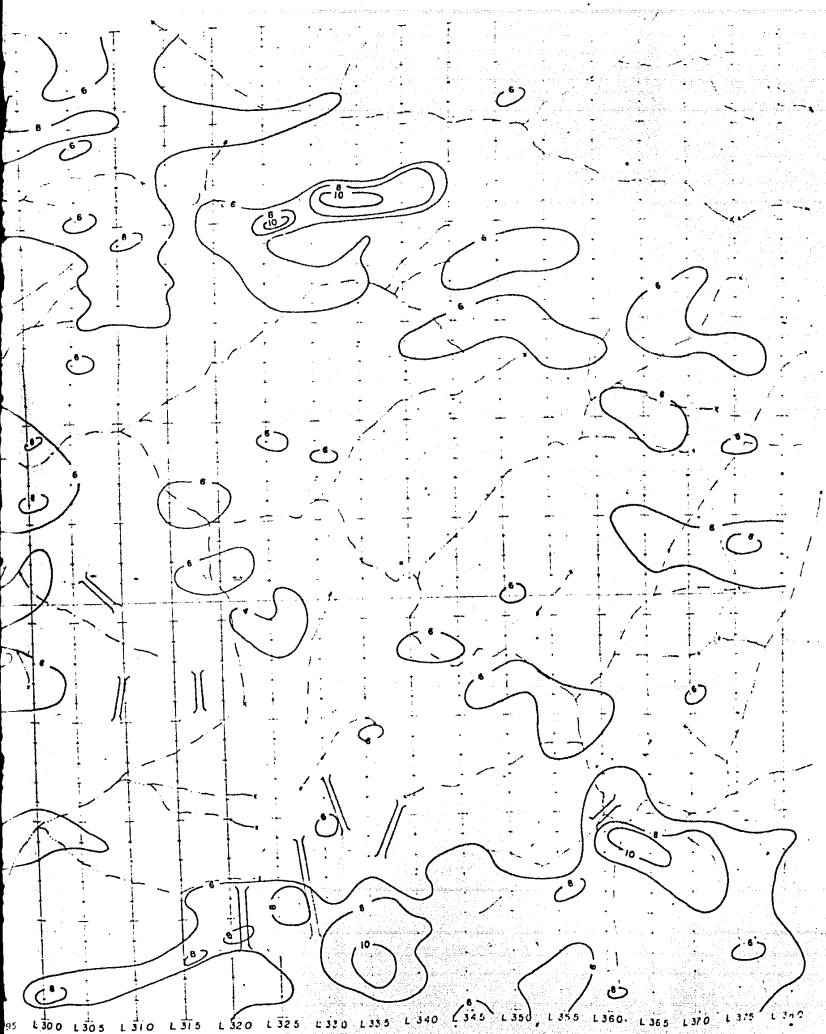
GEOFISICA

- FALLA INFERIDA CON GEOFISICA
- ANOMALIA MAYOR DE 12 Mseg.
- ANOMALIA ENTRE 8 y 12 Mseg.
- ARREGLO DE ELECTRODOS "BLOQUES"

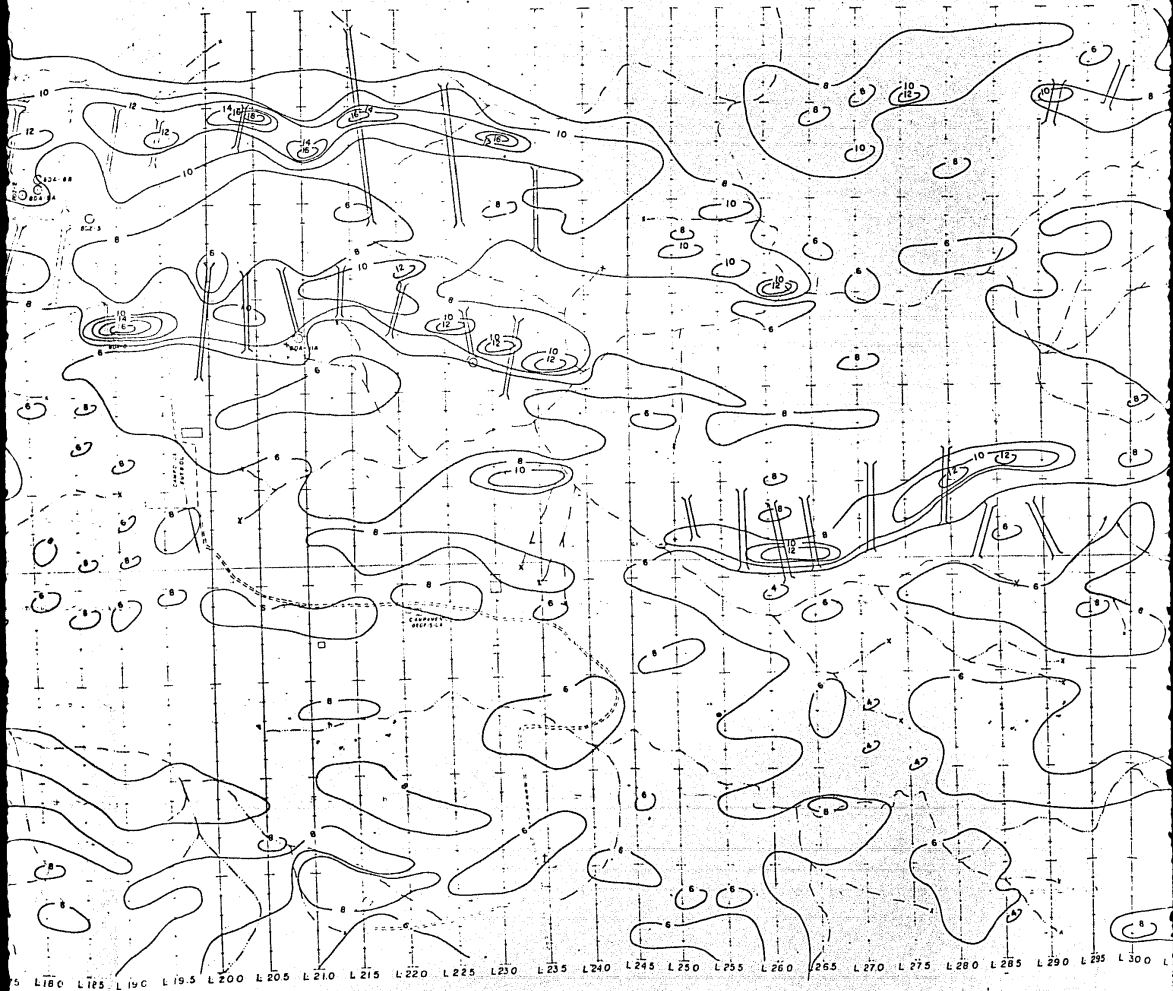
EQUIPO { TRANSMISOR IPC-7 (15 Kw)
RECEPTOR IPR-8 (1.2 seg.)

RUMBO DE LAS LINEAS N 32° W

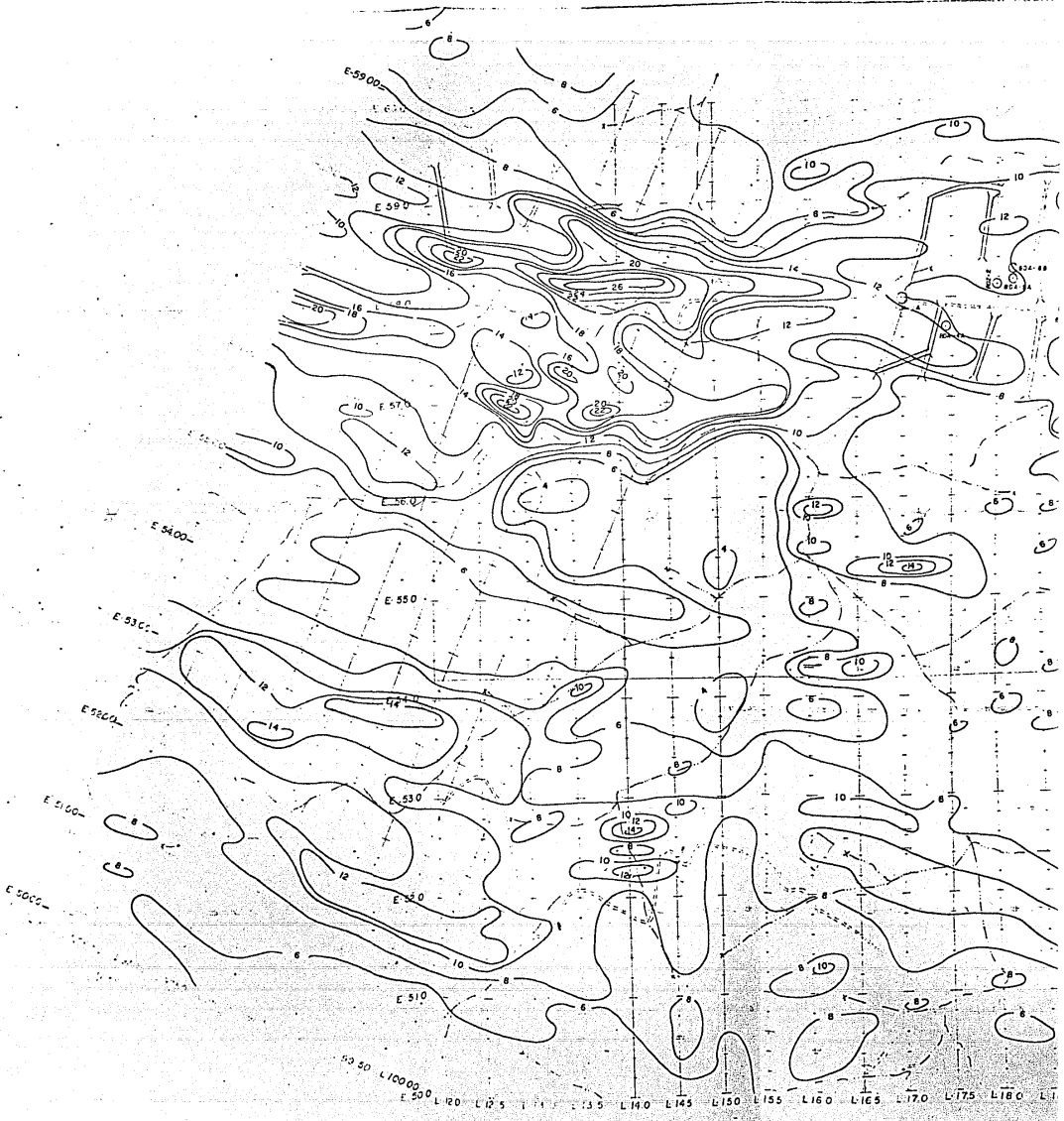
ESCALA GRAFICA

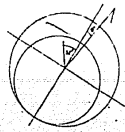


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
PLANO: CONFIGURACION DE CARGABILIDAD		
AREA: AZTECA - ZAPOTECA		
JULIO PEREZ ALBANA	JUNIO 1984	LAMINA 4



L180 L185 L190 L195 L200 L205 L210 L215 L220 L225 L230 L235 L240 L245 L250 L255 L260 L265 L270 L275 L280 L285 L290 L295 L300





EXPLICACION

TOPOGRAFIA

- LINEA DE LECTURA _____
- CAMINO _____
- ARROYO _____
- CATA _____
- BOCAMINA _____
- ZANJA _____
- VETA _____
- POBLADO _____
- BARRENO DE DIAMANTE _____

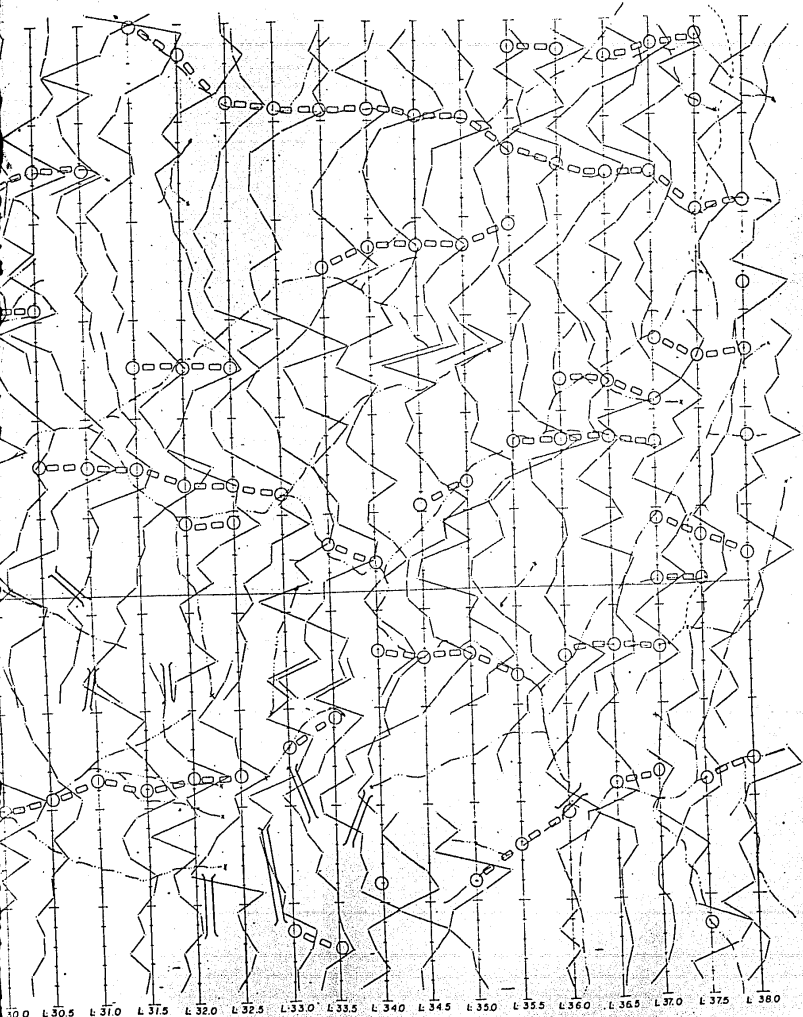
GEOFISICA

- FALLA INFERIDA CON GEOFISICA _____
- GRAFICAS DE RESISTIVIDAD _____
- ANOMALIAS DE PRIMER ORDEN _____
- ANOMALIAS DE SEGUNDO ORDEN _____
- ANOMALIAS DE TERCER ORDEN _____
- TRAZAS ANOMALAS INTERPRETADAS _____

ARREGLO DE ELECTRODOS "BLOQUES"
 A MN B AB = 100m
 MN = 20m

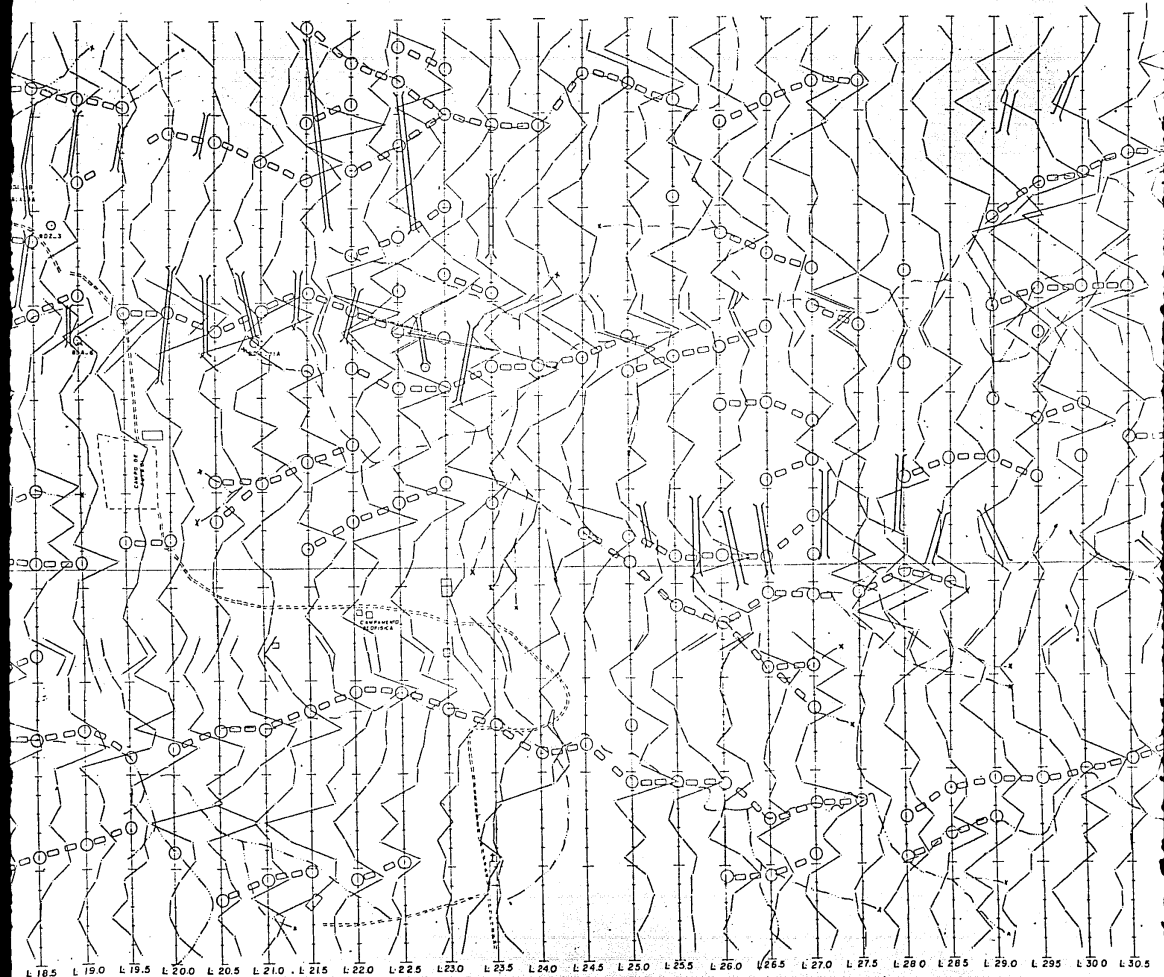
EQUIPO { TRANSMISOR IPC-7 (15 Kw)
 RECEPTOR IPR - 8 (1.1.2 seg.)

NIVEL DE FONDO 100 OHMS-m
 RUMBO DE LAS LINEAS N32°W

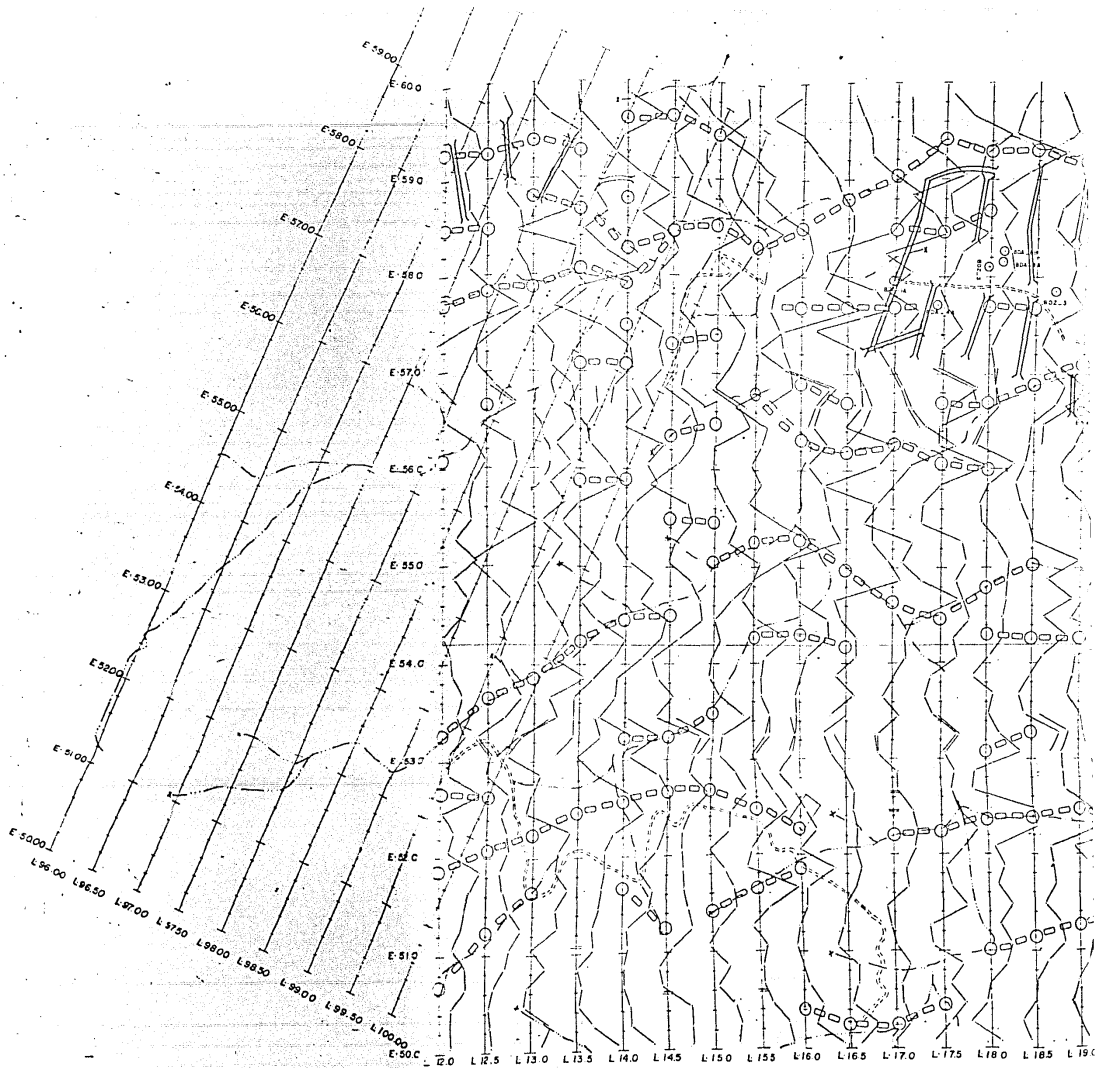


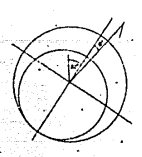
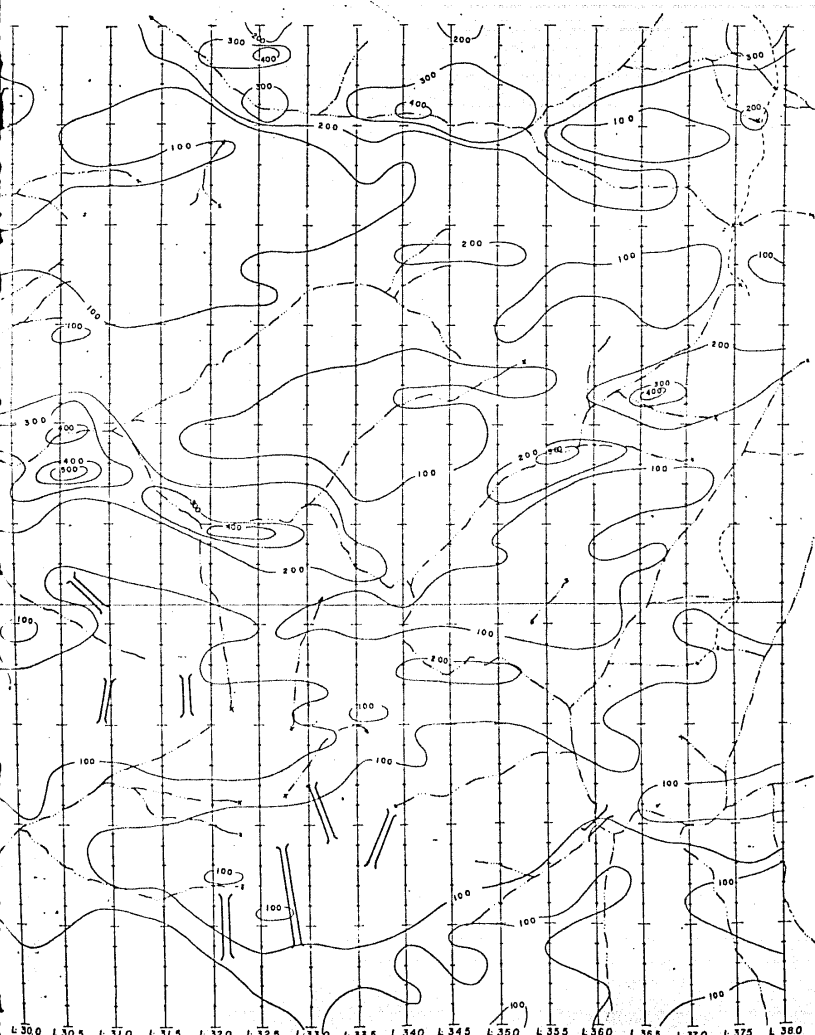
L 300 L 305 L 310 L 315 L 320 L 325 L 330 L 335 L 340 L 345 L 350 L 355 L 360 L 365 L 370 L 375 L 380

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
PLANO DE PERFILES DE RESISTIVIDAD		
AREA: AZTECA - ZAPOTECA		
AJLO PEREZ ALONSO	JUNIO 1984	LEMINA 1



L 18.5 L 19.0 L 19.5 L 20.0 L 20.5 L 21.0 L 21.5 L 22.0 L 22.5 L 23.0 L 23.5 L 24.0 L 24.5 L 25.0 L 25.5 L 26.0 L 26.5 L 27.0 L 27.5 L 28.0 L 28.5 L 29.0 L 29.5 L 30.0 L 30.5





EXPLICACION

TOPOGRAFIA

- LINEA DE LECTURA _____
- CAMINO _____
- ARROYO _____
- CATA _____
- BOCAMINA _____
- ZANJA _____
- VETA _____
- POBLADO _____
- BARRENO DE DIAMANTE _____

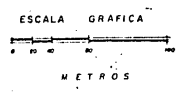
GEOFISICA

- FALLA INFERIDA CON GEOFISICA _____
- ANOMALIA MAYOR DE 500 OHMSm _____
- ANOMALIA ENTRE 200 Y 500 OHMSm _____
- ARREGLO DE ELECTRODOS "BLOQUES" _____

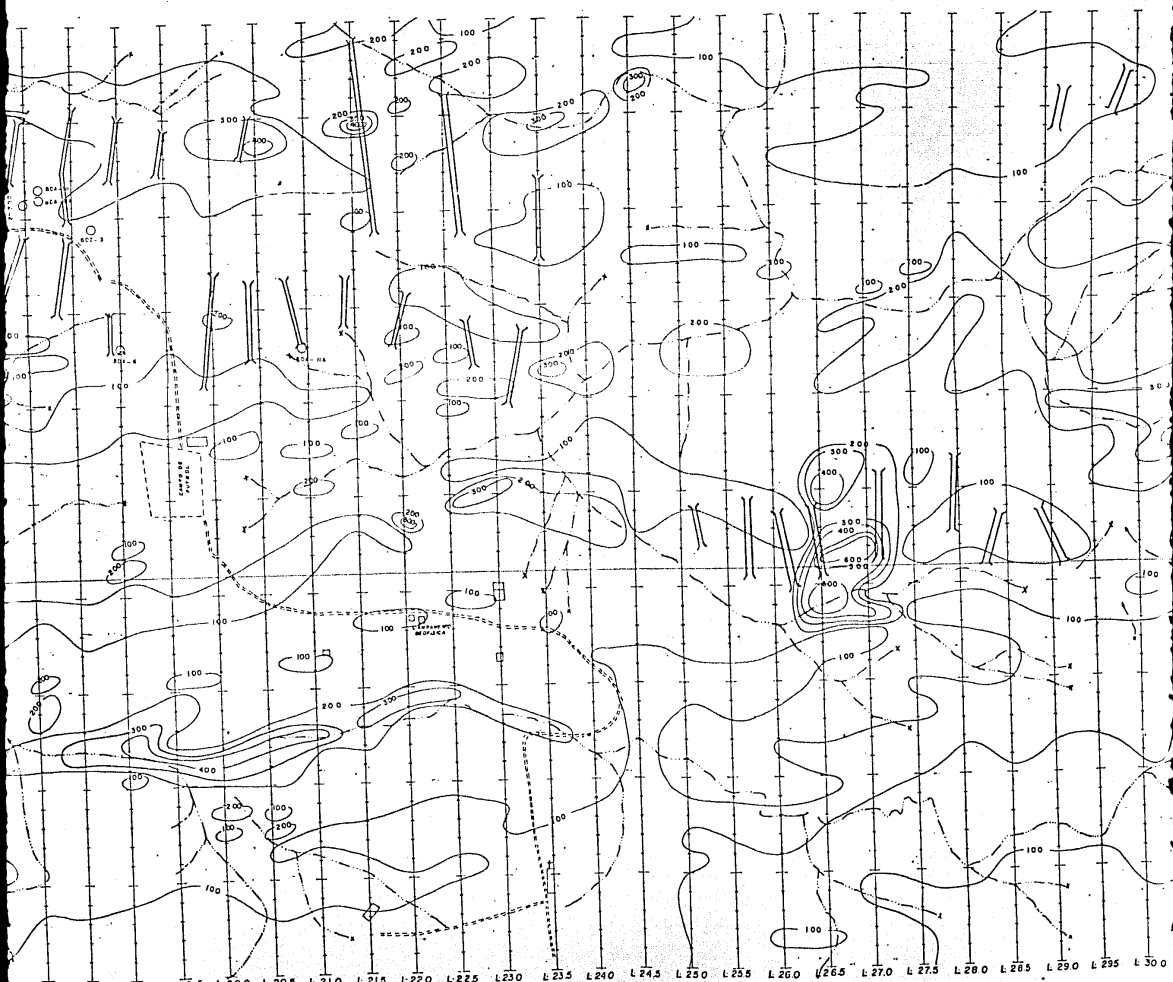


EQUIPO { TRANSMISOR IPC-7 (15 Kw)
RECEPTOR IPR-8 (1.2 seg.)

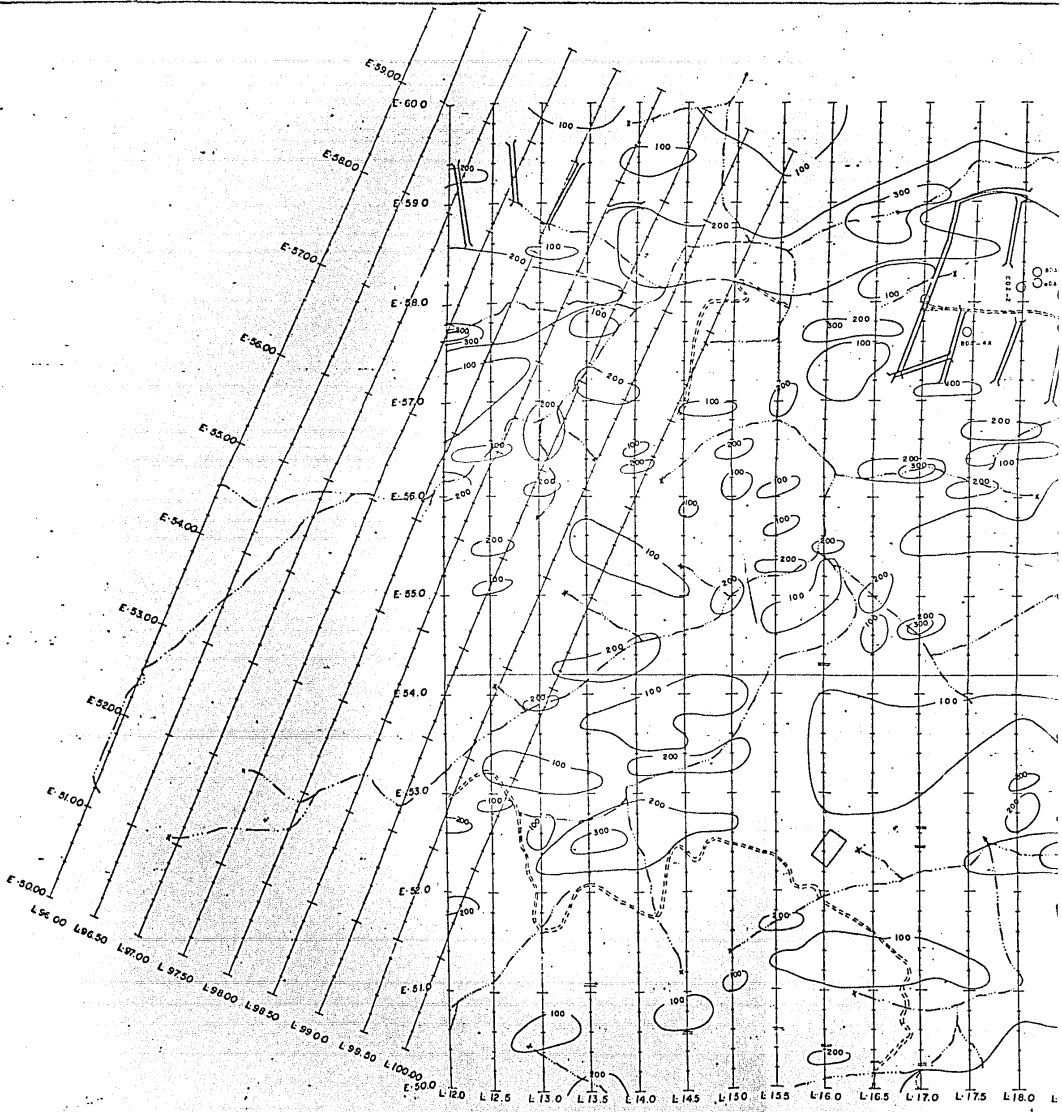
RUMBO DE LAS LINEAS N 32° W



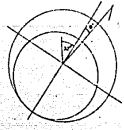
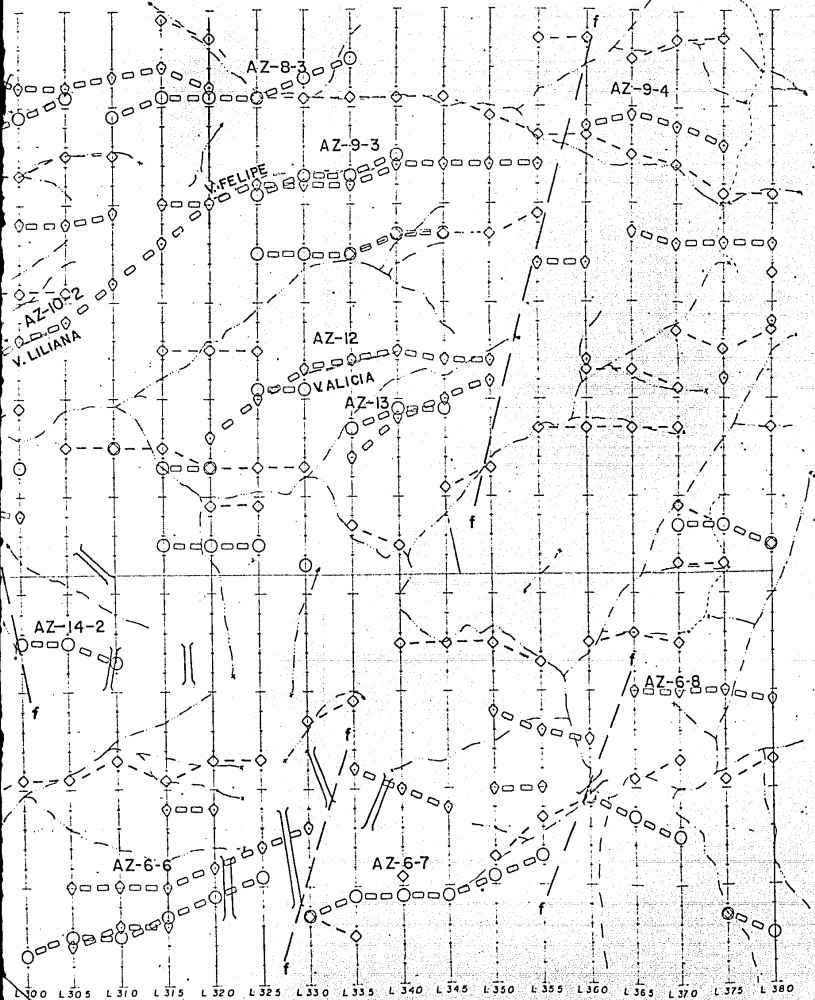
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
PLANO: CONFIGURACION DE RESISTIVIDAD		
AREA: AZTECA - ZAPOTECA		
JULIO PEREZ ALDANA	JUNIO 1964	LAMINA 6



L 178.0 L 178.5 L 19.0 L 19.5 L 20.0 L 20.5 L 21.0 L 21.5 L 22.0 L 22.5 L 23.0 L 23.5 L 24.0 L 24.5 L 25.0 L 25.5 L 26.0 L 26.5 L 27.0 L 27.5 L 28.0 L 28.5 L 29.0 L 29.5 L 30.0



LOQUE "C"



EXPLICACION

TOPOGRAFIA

- LINEA DE LECTURA _____
- CAMINO _____
- ARROYO _____
- CATA _____
- BOCAMINA _____
- ZANJA _____
- VETA _____
- POBLADO _____
- BARRENO DE DIAMANTE _____

GEOFISICA

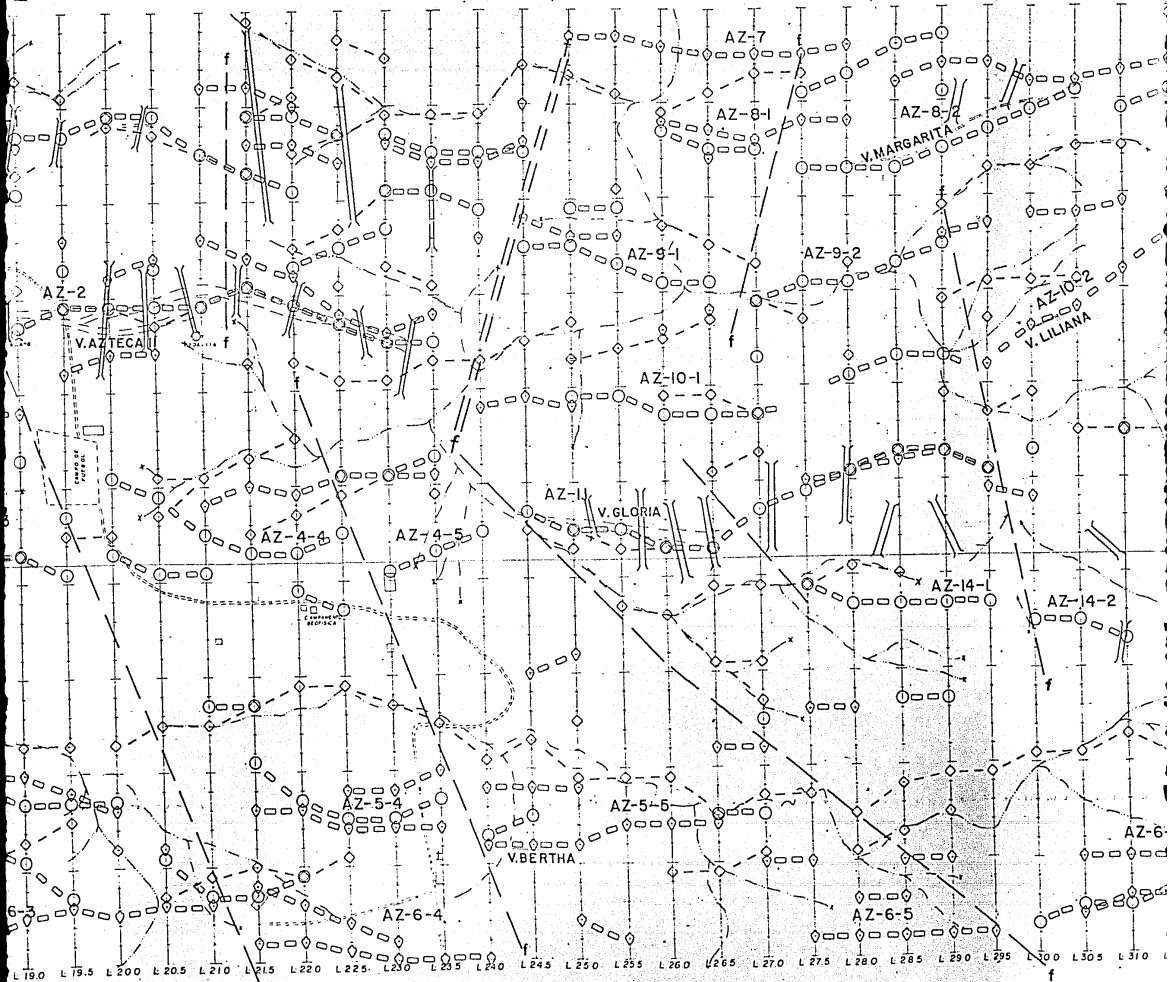
- TRAZAS ANOMALAS DE PI _____
- TRAZAS ANOMALAS DE RESISTIVIDAD _____
- TRAZAS ANOMALAS DE TURAM _____
- ANOMALIAS DE PRIMER ORDEN _____
- ANOMALIAS DE SEGUNDO ORDEN _____
- ANOMALIAS DE TERCER ORDEN _____



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
PLANO DE INTEGRACION DE DATOS DE		
PI, RESISTIVIDAD Y TURAM		
AREA: AZTECA - ZAPOTECA		
JULIO PEREZ ALDANA	JUNIO 1984	LAMINA 8

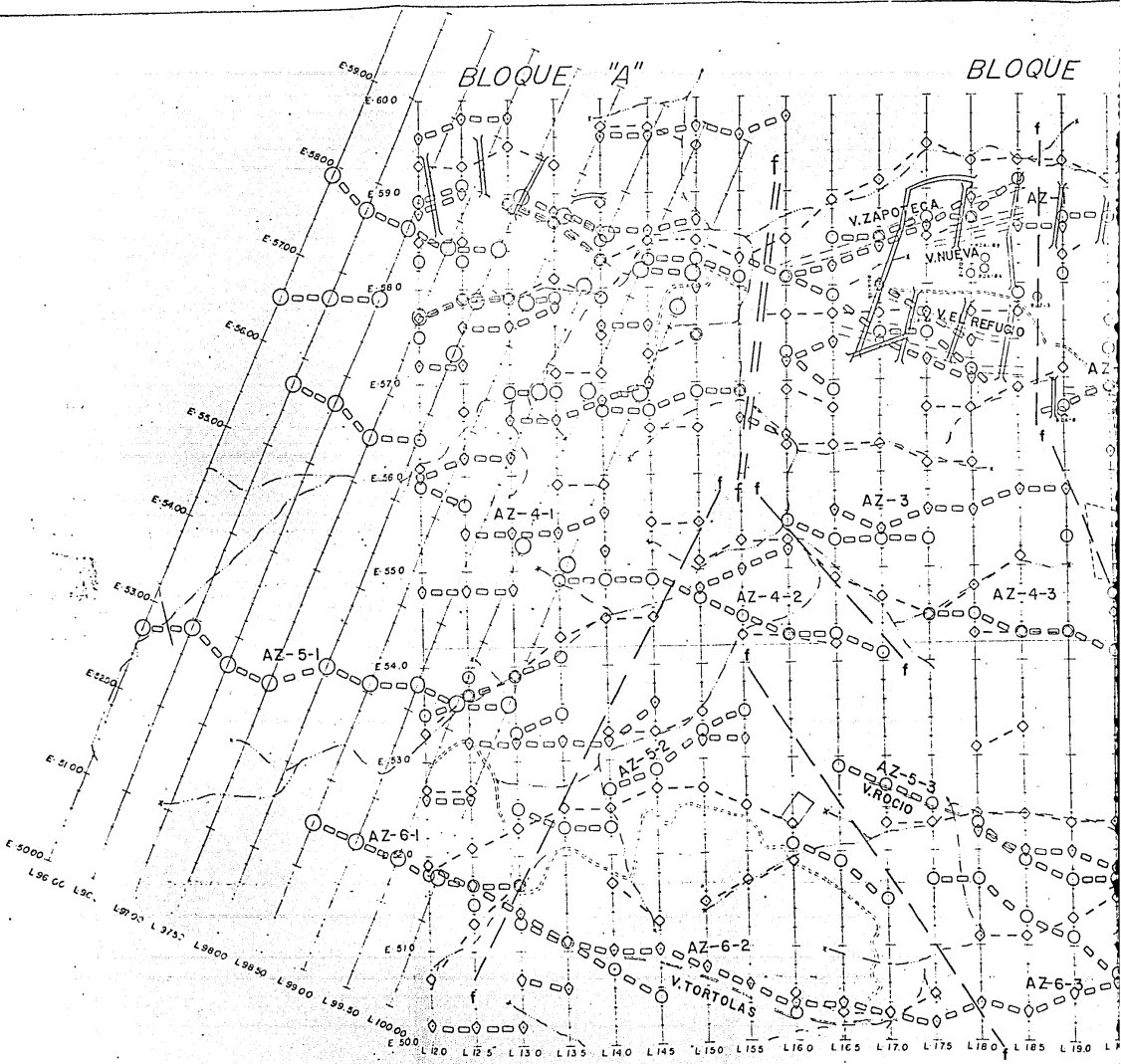
E "B"

BLOQUE "C"



BLOQUE "A"

BLOQUE





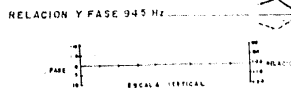
EXPLICACION

TOPOGRAFIA

- LINEA DE LECTURA
- CAMINO
- ARROYO
- CATA
- BOCAMINA
- ZANJA
- VETA
- POBLADO
- BARRENO DE DIAMANTE

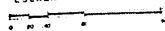
GEOFISICA

- FALLA INFERIDA CON GEOFISICA
- ANOMALIA DE PRIMER ORDEN
- ANOMALIA DE SEGUNDO ORDEN
- ANOMALIA DE TERCER ORDEN
- TRAZAS ANOMALAS INTERPRETADAS
- RELACION Y FASE 105 Hz

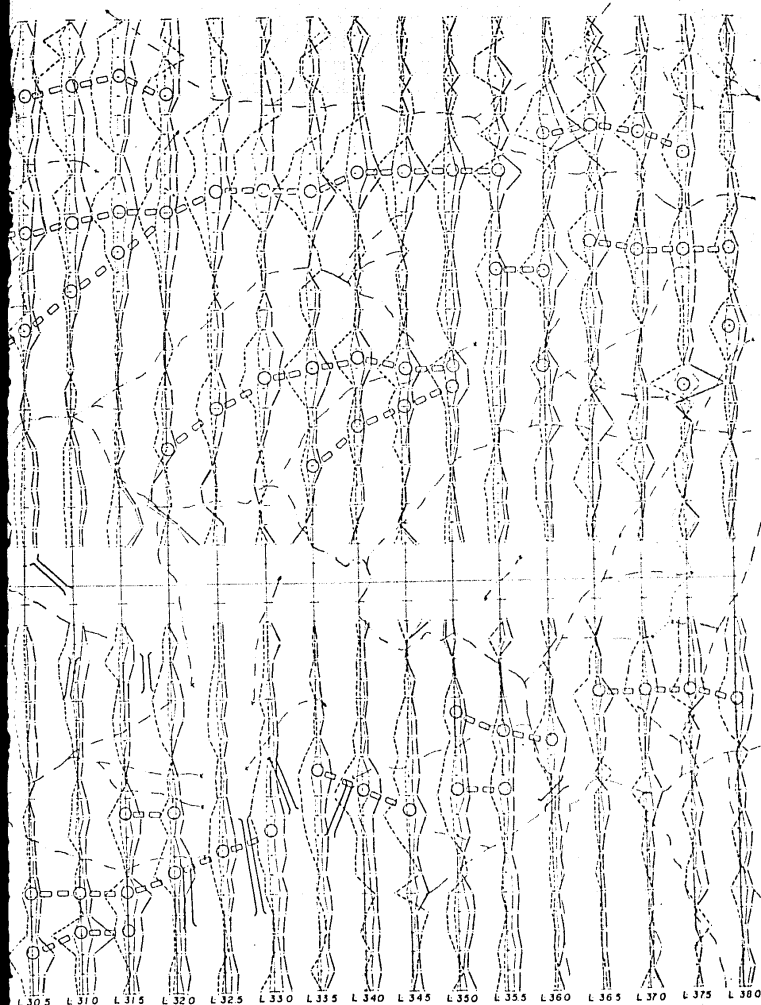


MODALIDAD CABLE LARGO ATERRIZADO
RUMBO DE LAS LINEAS N 32° W

ESCALA GRAFICA



METROS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO		
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
PLANO DE GRATICAS ELECTROMAGNETICAS		
TURAN SE-77		
AREA: AZTECA-ZAPOTECA		
FECHA: 1984	INSTRUMENTOS:	LABOR: 7



