



17
2-g

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**GEOLOGIA Y ESTUDIO GEOFISICO, AREA
EL MONTE, DISTRITO MINERO DE ZIMAPAN,
HGO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

LEOPOLDO GONZALEZ VILLALVASO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D.F.

JUNIO DE 1990



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

RESUMEN

El distrito minero de Zimapán se encuentra localizado en la parte occidental del estado de Hidalgo. Sus coordenadas geográficas son 20° 49' de Latitud Norte y 99° 23' de Longitud Oeste. En el distrito existen dos áreas mineras que se trabajan actualmente: El Monte y El Carrizal. La zona de estudio, se encuentra ubicada dentro del área El Monte aproximadamente a 9 Km al norte de la ciudad de Zimapán. Fisiográficamente está ubicado en los límites de las provincias fisiográficas Sierra Madre Oriental y Mesa Central.

Las rocas que conforman la geología del distrito varían en edad del Kimmeridgiano al Reciente y están representadas por rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, de las formaciones, mencionadas desde la más antigua: Trancas (areniscas y lutitas interestratificadas con calizas), Tamaulipas (calizas estratificadas con pedernal y calizas arrecifales masivas), Soyatal (calizas y lutitas interestratificadas), Fanglomerado El Morro (conglomerado polimíctico), Espinas (rocas volcánicas de composición intermedia a básica), Fanglomerado Zimapán (guijas y guijarros de caliza cementados por caliche, Fanglomerado Daxhi (similar a la anterior) y depósitos aluviales recientes.

Las rocas de las Formaciones Trancas, Tamaulipas y Soyatal, fueron fuertemente plegadas por esfuerzos producto de la Orogenia Laramide. Así mismo y al igual que las rocas del Terciario, fueron afectadas por intrusiones de rocas ígneas pertenecientes a varios eventos. Los principales cuerpos ígneos están representados por diques de composición monzonítica que provocaron metamorfismo de las rocas y que están directamente relacionados a la mineralización existente en las calizas de la Formación Tamaulipas. Los cuerpos mineralizados corresponden a mantos, chimeneas en calizas y cuerpos masivos y diseminados en intrusivos y skarns adyacentes.

En el área estudiada afloran calizas estratificadas con pedernal (en bandas y nódulos) y calizas masivas, de la Formación Tamaulipas. Se encuentran afectadas por diques de composición monzonítica que en algunas partes generan zonas de skarn mineralizado y cuerpos en forma de mantos y

chimeneas. La principal estructura la constituye el dique Concordia que forma el principal cuerpo mineralizado conocido hasta ahora en el área. Otro dique que se encuentra en la zona y que es de gran importancia, es el dique Tecolote, el cual también se encuentra asociado a mineralización económica.

Con los trabajos de geología realizados, que consistieron de levantamientos geológicos de superficie e interior de mina, muestreos y estudios geoquímicos, se delimitó una zona con probabilidad de contener cuerpos mineralizados asociados al dique Tecolote, en la que se realizó un estudio geofísico por medio del método de polarización inducida y resistividad aparente, con el fin de detectar zonas anómalas que pudieran corresponder a cuerpos minerales factibles de ser explorados por medio de barrenación de diamante. Se realizó un levantamiento a lo largo de 16 líneas dispuestas perpendicularmente al dique Tecolote, empleando un arreglo eléctrico Dipolo-Dipolo con espaciamiento entre electrodos de 100 m y separación entre dipolos de 100, 200, 300 y 400 m, cubriéndose un total de 16.6 Km lineales. De acuerdo con los valores de fondo determinados, se obtuvieron cuatro zonas anómalas, de las cuales, por sus características de posición, extensión, intensidad y gradientes mostrados, dos resultaron interesantes y se propone explorarlas por medio de barrenación de diamante.

INDICE GENERAL

RESUMEN

	Pág.
I. GENERALIDADES	1
I.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	1
I.2.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO	2
I.3.- FISIOGRAFIA	2
I.4.- HISTORIA MINERA DEL DISTRITO	3
II. GEOLOGIA REGIONAL DEL DISTRITO	6
II.1.- ESTRATIGRAFIA	6
II.2.- ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS Y METAMORFICAS	15
II.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL	17
II.4.- YACIMIENTOS MINERALES	19
III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	22
III.1.- GEOLOGIA LOCAL	22
III.2.- YACIMIENTOS MINERALES	24
III.2.1.- ZONA CONCORDIA	24
III.2.2.- ZONA DOLORES	27
III.2.3.- ZONA TECOMATES-LA ESCONDIDA	28
IV. DESCRIPCION DEL ESTUDIO GEOFISICO	31
IV.1.- DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO	31
IV.2.- TRABAJOS REALIZADOS	37
IV.3.- RESULTADOS OBTENIDOS	40
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFIA	48
ANEXOS	

C A P I T U L O I

GENERALIDADES.

I.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

La Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. actualmente se encuentra operando en el distrito minero de Zimapán, Hgo. la mina El Monte, dentro del área del mismo nombre y las minas El Carrizal y La Cuña, en el área El Carrizal. Se tiene instalada una planta de beneficio con capacidad de molienda de 1000 toneladas por día, localizada en la ranchería San Francisco a aproximadamente 2200 m en línea recta, al oriente del área El Monte, en la que se beneficia el mineral extraído de las tres minas mencionadas.

Con el fin de aumentar las reservas de mineral y así la vida de las operaciones mineras, se integró una brigada de exploración, para hacer extensivos sus trabajos de investigación a todo el distrito y a los alrededores de las minas que se encuentran trabajando.

Los trabajos de la brigada de exploración han consistido en levantamientos geológicos de superficie e interior mina a diferentes escalas, así como estudios geoquímicos y geofísicos y ejecución de obras comprobatorias como son zanjeos, muestreos y barrenación de diamante.

Con los trabajos de geología y geoquímica realizados en la zona El Monte, se han podido delimitar áreas con posibilidades de contener mineralización a profundidad. Particularmente, en la zona objeto del estudio, se pudieron observar suficientes evidencias geológicas a nivel superficie para alentar la exploración a profundidad por medios indirectos.

El objetivo del trabajo geofísico realizado fue pues, estudiar la respuesta geofísica del subsuelo en lugares con mineralización conocida, explorar a profundidad el área,

delimitar zonas anómalas y evaluar la posibilidad de explorarlas por medio de barrenación de diamante.

Los levantamientos geofísicos fueron realizados por una brigada de geofísica del Consejo de Recursos Minerales auxiliada por personal del Depto. de Exploración de la Compañía Fresnillo, S.A. de C.V.

I.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

El distrito minero de Zimapán se encuentra localizado en la parte occidental del estado de Hidalgo, aproximadamente a 153 Km en línea recta de la ciudad de México. Sus coordenadas geográficas son aproximadamente 20° 49' de Latitud Norte y 99° 23' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. El acceso a la ciudad de Zimapán es la carretera federal No. 85 México-Laredo a 205 Km de la ciudad de México y la autopista México-Querétaro hasta el Km 56, tomando la desviación a Tula hasta entroncar con la vía México-Laredo. Además se cuenta con una pista de aterrizaje de 1 Km de longitud (Anexo No. 1). Este distrito cuenta con dos áreas mineras importantes que se trabajan actualmente, que son: El Carrizal, ubicada al NW aproximadamente a 14 Km en línea recta de la ciudad de Zimapán y El Monte al norte aproximadamente a 9 Km. El área El Tolimán, en donde existen también depósitos minerales, ubicada a 5 Km al NW de Zimapán se encuentra actualmente inactiva debido a que las estructuras ahí existentes no son económicamente explotables. A dichas zonas se llega por caminos de terracería transitables en toda época del año.

Específicamente, la zona de estudio, se encuentra ubicada dentro del área El Monte, aproximadamente a 500 m al sur de la mina del mismo nombre.

I.2. FISIOGRAFIA.

El distrito minero de Zimapán, Hgo. se encuentra en las estribaciones de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental con la Mesa Central (Raisz, 1964). Zimapán se encuentra localizado en un valle a una elevación de 1770 m.s.n.m., rodeado por montañas con alturas de hasta 2800 m.s.n.m.. La parte más elevada se encuentra en la Sierra de El Monte al norte de Zimapán. Los principales rasgos fisiográficos son: el río Tolimán, el abanico aluvial de Zimapán, la sierra de El Monte y el río Moctezuma (límite entre los estados de Querétaro e Hidalgo). Cabe mencionar que sobre la barranca que forma el río Tolimán, existen desniveles de hasta 800 m y en algunos lugares los flancos (Lomo de Toro) forman escarpes casi verticales del orden de 200 a 300 m. Las formas geomórficas son consecuencia de la erosión diferencial producto de la resistencia de las diferentes rocas que afloran en la región. Las áreas cubiertas por las calizas de la Formación Tamaulipas están caracterizadas por una topografía sumamente escarpada, a diferencia de las zonas en donde afloran otros tipos de rocas tales como conglomerados, lutitas y calizas y derrames volcánicos, caracterizadas por una topografía suave de formas redondeadas. Conforme con lo antes dicho, el distrito minero de Zimapán, es una región geomorfológicamente joven, de acuerdo con el ciclo de erosión propuesto por Davis W. M. (1973), en donde se presentan degradaciones fuertes especialmente por erosión del agua corriente, en menor grado se presentan erosiones de tipo físico (depósitos de talud) y por acción biótica (Meritano, J., 1976).

I.3. HISTORIA MINERA DEL DISTRITO.

El inicio de la actividad minera en el distrito de Zimapán se remonta al siglo XVI. En cuanto a ello existen discrepancias entre los historiadores. Según Alejo de Murgía (1579), juez repartidor de la Nueva España, hacia el año 1576, ya existían españoles dedicados a la minería en

Zimapán. De acuerdo con Humbolt, A., (1808) y Dahlgreen, Ch., (1883) (en Simons y Mapes, 1957) la actividad inicia en el año de 1632 con el descubrimiento de la mina Lomo de Toro por Lorenzo de Labra. Dahlgreen menciona que la mina Lomo de Toro fué trabajada sin interrupción desde el año de su descubrimiento hasta 1810, año en que estalló la Guerra de Independencia.

Dahlgren y Falletite dan algunas cantidades de producción para el período 1785-1793: de 1785 a 1788, el metal fundido tuvo un valor de 247,000 marcos de plata (el marco de plata valía 8 pesos) y el metal producido por el proceso de patio tuvo un valor de 9,720 pesos. En el año de 1793, una bonanza en la mina Lomo de Toro produjo 5,700 toneladas de plomo.

Según Ward, H., (1828) en 1825 la Compañía Minera Real del Monte y Pachuca trabajó la mina Lomo de Toro de 1825 a 1828 y una compañía anglomexicana trabajó las minas de la Cruz, San Francisco y Guadalupe.

En 1840 un señor Juárez extrajo plomo y plata de la zona minera de El Monte por más de 40,000 pesos (Falletite, E., 1860, en Simons y Mapes, 1957).

Para el período de 1840 a cerca de 1878 no existen datos de producción.

El interés de la mina Lomo de Toro se revivió de 1890 a 1901, época en la que fueron desarrollados varios socavones y pozos. La Revolución de 1910 puso fin a los trabajos en esta mina, los que se reanudaron hasta el año de 1929.

Durante varios años a partir de 1919 la Hidalgo Copper and Smelting Company, llevó a cabo obras mineras en pequeña escala en la mina Concordia, en la zona minera de El Monte.

En 1921 existían tres compañías trabajando en el distrito: la Compañía Fundidora y Minera de Zimapán,

operando en el área de Santa Gorgonia, la Hidalgo Copper and Smelting Company y la familia Preisser que operaban en las áreas de El Monte y El Carrizal.

Para 1929 eran ya varias las compañías que estaban operando en el distrito, sumandose a las tres anteriores la Compañía Minera Mexicana y la Negociación Minera La Aurora. La mina Lomo de Toro también comenzó nuevamente a producir con la renovación de varias obras mineras.

Los grandes cuerpos de mineral oxidado de la mina Lomo de Toro fueron descubiertos en 1945 y la construcción de un camino de terracería transitable en toda época del año a la zona minera El Carrizal en los años de 1946 y 1947, dió estímulo a la producción en mayor escala, principalmente de las minas Lomo de Toro y Balcones. Desde 1929 hasta la mitad de 1948, la mina Lomo de Toro produjo cerca de 35,000 toneladas de mineral de alta ley de plomo y plata (Simons y Mapes, 1957).

En el año de 1949 The Fresnillo Company dió principio a trabajos de exploración en la zona minera de El Monte y en 1950 en el área El Carrizal. En 1949 se fundía muy poco mineral en Zimapán. La única fundición en operación era la de la Compañía Minera La Llave; casi todo el mineral que se producía en el distrito era enviado a San Luis Potosí y a Fresnillo, Zac..

En 1961 The Fresnillo Company se mexicanizó y se constituyeron las compañías Fresnillo, S.A. de C.V. y Zimapán, S.A. de C.V. que son las que actualmente operan en el distrito conjuntamente con las compañías Preisser y Martínez, S.A., Lomo de Toro, S.A. y Compañía Minera y Metalúrgica San Miguel, S.A.. De dichas empresas únicamente las dos primeras han mantenido una brigada de exploración que ha estado trabajando en todo el distrito, prospectando por nuevos cuerpos de mineral.

La producción del periodo Julio 1975 a Diciembre 1985 por parte de la Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. y Zimapán, S.A. de C.V., fue de 2,468,254 tons. con 150 gr/ton de Ag, 1.14 % de Pb, 2.12 % de Zn y 0.51 % de Cu (Morín, J., Padilla, S., Hernández, T., en Ordóñez, J., 1986).

C A P I T U L O I I

GEOLOGIA REGIONAL DEL DISTRITO.

II.1. ESTRATIGRAFIA.

Las rocas que conforman la geología regional del distrito están representadas por rocas marinas y continentales con edades que varían del Kimmeridgiano (Jurásico Superior) al Reciente. En orden de abundancia éstas son sedimentarias, ígneas y metamórficas.

Las formaciones más antiguas están constituidas por calizas y lutitas y han sido fechadas por medios paleontológicos y estratigráficos, como del Mesozoico. En menor proporción, en la región, se encuentran conglomerados de edad Terciaria.

La actividad ígnea está representada por cuerpos intrusivos de composición ácida a intermedia y por derrames de lava (andesita-basalto), así como por algunas rocas tobáceas.

Por último, existen rocas metamórficas asociadas a las intrusiones ígneas, como son hornfels y skarns.

SISTEMA JURASICO SUPERIOR.

Formación Las Trancas.

Definición.- El nombre de Formación Las Trancas fue propuesto por Segestrom, K. en 1962 para una secuencia de areniscas impuras, lutitas ligeramente filíticas y calizas, localizadas cerca del puerto de Las Trancas, en el km 217 de la carretera México-Nuevo Laredo.

Descripción.- Está compuesta por arcosas color gris verdoso, grauvacas de color gris, alternancia de grauvacas amarillas, capas delgadas de lutitas rojizas interstratificadas con capas delgadas de caliza gris obscura. Existe sin embargo, un cambio de facies en la Formación Las Trancas, en el poniente está constituida principalmente por areniscas y lutitas y por poca proporción de rocas carbonatadas, que corresponde a lo anotado arriba, y hacia el oriente predominan calizas micriticas, margas y lutitas calcáreas con algunos bancos de areniscas y rocas piroclásticas.

En las faldas del cerro de los Lirios, bajando por la Mina El Rey (Espiritu), presenta un espesor calculado de 800 m (Carrillo y Suter, 1982). El espesor total de esta formación es difícil de estimar debido a que no aflora su base.

Distribución.- La facies pelágica-carbonatada aflora en los núcleos del anticlinal de Bonanza y del anticlinorio de El Piñón, y parcialmente a lo largo del río Extorax. La facies esencialmente detritica aflora en una vasta y continua área comprendida entre San Juan de la Rosa, Tolimán e Higuerrillas, Hgo. (Anexo No. 2)

Relaciones estratigráficas.- Esta formación representa las rocas más antiguas que afloran en la región. Subyace de manera concordante a la Formación Tamaulipas del Cretácico Inferior.

Edad y Correlación.- Segerstrom, K. (1962) encontró amonitas al oriente del puerto de Las Trancas y en la parte inferior de la barranca de Tolimán que pueden pertenecer al Portlandiano Medio y Tardío o Kimmeridgiano Tardío; así mismo encontró amonitas valanginianas o hauerivianas tempranas en rocas sobreyacientes concordantemente a la Formación Las Trancas que pertenecen a la Formación Santuario y que está ausente en el área. Por otra parte Kiyokawa (en Carrillo y Sutter, 1982) reporta en el anticlinal de Bonanza fósiles de edad Jurásico Superior a Neocomiano. Por último, Carrillo y Sutter (1982) en el núcleo del anticlinorio de El Piñón encontraron amonitas y esporas barremianas y hauerivianas.

Por lo anterior la edad asignada a esta formación es Kimmeridgiano-Barremiano.

La Formación Las Trancas se correlaciona con las Formaciones: Tamán, Pimienta (Heim, 1926; Cantú, 1971 en Carrillo y Suter, 1982) y Tamaulipas Inferior (Carrillo Bravo, 1971) del norte y noreste de México, así como con la Formación Alisitos del noroeste (Carrillo y Sutter, 1982).

SISTEMA CRETACICO INFERIOR.

Durante el Cretácico se desarrollaron en la región dos plataformas carbonatadas: banco calcáreo El Doctor y Plataforma Valles San Luis Potosí, separadas por una cuenca intracratónica (Cuenca de Zimapán) por definirse (Carrillo y Sutter, 1982).

Carrasco (1970) sugiere se emplee el término "Formación Tamaulipas" para las facies de cuenca, "Formación Tamabra" para facies de talud y "Formación El Doctor" y "Formación El Abra" para las facies de plataforma (borde e interior) tanto del banco de El Doctor como de la plataforma de Valles San Luis Potosí. Por tanto con base en lo especificado por Carrasco y tomando en cuenta que las rocas que pertenecen al Cretácico Inferior, en el distrito de Zimapán, se presentan en la paleocuenca de Zimapán, se les agrupará como Formación Tamaulipas.

Formación Tamaulipas.

Descripción.- Esta formación está constituida por calizas de color gris oscuro de grano fino a medio intercaladas con bandas y nódulos de pedernal negro, capas de caliza arcillosa de color rojizo púrpuro-grisáceo y escasos paquetes de caliza arenosa de color rojizo-grisáceo. Hacia la parte superior de esta formación se encuentran dos horizontes o capas de caliza masiva fosilífera, de aspecto arrecifal, de color gris oscuro, de grano medio a grueso, en partes brechoide con nódulos de pedernal negro y numerosos

fragmentos de corales, pelecipodos, algas y pocos gasterópodos. El espesor de estos horizontes varia de 10 hasta 40 m. Esta caliza masiva constituye parte del control litológico y estructural de la mineralización.

La caliza en general es muy resistente a los agentes exógenos y se erosiona en formas características, dando lugar a pendientes muy empinadas y fuertes acantilados (tal es el caso del área El Carrizal).

El espesor de esta unidad es difícil de calcular debido al intenso plegamiento y a la ausencia de horizontes índice reconocibles. Sin embargo varios autores han calculado su posible espesor. Simons y Mapes (1957) lo estiman en 1000 m.

Distribución.- Se encuentra localizada en la parte central de la cuenca de Zimapán y aflora en amplias zonas dentro del distrito. Constituye básicamente la roca encajonante de la mineralización en las áreas El Monte y El Carrizal (ver Anexo No. 2).

Relaciones estratigráficas.- Dentro del distrito se encuentra descansando de manera concordante sobre la Formación Las Trancas y subyace de igual forma a la Formación Soyatal. En algunas zonas está cubierta discordantemente por el Fanlomerado El Morro, por rocas volcánicas y por aluvión cuaternario (Simons y Mapes, 1957).

Edad y Correlación.- Por su contenido faunístico se le ha asignado una edad Albiano- Cenomaniano (Segerstrom, K., 1962).

Se correlaciona con la Formación Tamaulipas Superior al oriente de la Plataforma de Valles-San Luis Potosí.

SISTEMA CRETACICO SUPERIOR.

Formación Soyatal.

Definición.- Esta formación fue definida por White en

1948 y nombrada por Wilson et. al., en 1955 (Segerstrom, K., 1962). La litología corresponde a una secuencia marina tipo flysch cuya localidad tipo se encuentra en el campo minero Soyatal, situado a 48 km al SE de Zimapán,, en el Edo. de Hidalgo (Simons y Mapes, 1957).

Descripción.- Está constituida por una alternancia de lutitas amarillas, margas y calizas micríticas de color negro. La litología de esta formación varía lateralmente con frecuencia, siendo, en algunos lugares, más calcárea y en otros más pelítica, lo que dificulta su división en miembros (Carrillo y Sutter, 1982).

Los estratos de estas rocas se caracterizan por numerosos pliegues sinsedimentarios y estructuras nodulares (boudinage sinsedimentario), causados por ruptura y flujo de la roca no consolidada (Carrillo y Sutter, 1982). Así mismo se le observa sumamente plegada, por efectos de la Orogenia Laramide motivo por el cual el espesor es difícil de estimar. Simons y Mapes (1957) calculan un espesor de aproximadamente 1000 m; según Segerstrom, K. (1962) éste varía sólo de 100 a 300 m.

En la zona de El Tolimán la Formación Soyatal se encuentra metamorfoseada a hornfels (por efectos de la intrusión del Intrusivo Tolimán). Las áreas en donde afloran dichas rocas están caracterizadas por formas redondeadas de pendientes suaves.

Dentro de esta formación no se presentan zonas mineralizadas de interés en el distrito.

Distribución.- Estas rocas afloran a lo largo de dos franjas orientadas al NW y rodeando en su mayor parte la zona de Santa Gorgonia (ver Anexo No. 3) constituyendo los núcleos de los sinclinales, principalmente.

Relaciones estratigráficas.- Esta unidad se encuentra descansando concordantemente sobre la Formación Tamaulipas, siendo el contacto entre ambas de manera gradual. A su vez, se encuentra subyaciendo discordantemente a rocas volcánicas

de la Formación Las Espinas y la Formación Fanglomerado El Morro.

Edad y Correlación.- Por su contenido faunístico se le ha asignado una edad que varía del Turoniano al Maestrichtiano.

Esta formación, según diferentes autores, es correlacionable con las Formaciones Agua Nueva, San Felipe, Méndez y Mexcala.

SISTEMA TERCIARIO.

Formación Fanglomerado El Morro.

Definición.- Fue definida por Simons y Mapes en 1957. Su localidad tipo se encuentra en el cerro de El Morro, sobre el camino a la mina San Pascual, a 6 Km al NW de Zimapán.

Descripción.- Está constituida por un conglomerado polimictico formado por fragmentos mal clasificados que varían de angulosos a subangulosos, de caliza, mármol y rocas volcánicas en una matriz arenosa con algunas intercalaciones de capas predominantemente arenosas. Hacia la cima, cerca del contacto con la Formación Las Espinas, se presenta interdigitada con derrames andesíticos.

Según Carrillo y Sutter (1982), esta unidad puede representar una molasa intermontañosa producto de la formación del cinturón de deformaciones laramídicas o del relieve del arco magmático propuesto por Damon (1980).

Las rocas que constituyen esta formación se encuentran bien consolidadas y son muy resistentes a la erosión, por lo que se caracterizan por formar laderas de fuertes pendientes y numerosos cantiles, principalmente sobre el río Tolimán (Simons y Mapes, 1957).

El espesor estimado de esta unidad es de aproximadamente 400m.

Distribución.- Aflora en una franja de 11 Km de largo desde el cerro Vandhó hasta el cerro del Potrero. También aflora en el área comprendida entre los ríos Tolimán y Moctezuma.

Relaciones estratigráficas.- Descansa discordantemente sobre la Formación Soyatal y se encuentra subyaciendo en concordancia a la Formación Las Espinas, con la cual en algunas zonas se interdigita, como ya se ha mencionado.

Edad y Correlación.- Esta unidad ha sido datada indirectamente por relaciones estratigráficas y por su similitud con otros depósitos fluviolacustres de la República, como Eoceno Superior-Oligoceno Inferior (Simons y Mapes, 1957).

Es correlacionable con el Grupo Balsas y el Conglomerado Rojo de Guanajuato.

Formación Las Espinas.

Definición.- Las rocas volcánicas pertenecientes a esta unidad, fueron definidas por Simons y Mapes en 1957; consiste en un conjunto de rocas volcánicas de composición que varía de latita-andesita a basalto. Su localidad tipo se encuentra en el Cerro de Las Espinas al W de Zimapán (Seegerstrom, 1962).

Descripción.- Consiste de lavas, aglomerados y tobas de composición que varían de latita cuarcifera, andesita (píroxenos y olivino) a basalto de olivino e hiperstena. Estas rocas son difíciles de dividir macroscópicamente para fines cartográficos; un estudio detallado reveló gran variedad en lo que respecta a la composición petrográfica y las edades de las rocas, consideradas como Formación Las Espinas (Kiyokawa M., en Carrillo y Sutter, 1982).

Las rocas que constituyen a esta formación son poco resistentes a la erosión por lo cual presentan topografía suave con formas redondeadas.

El espesor de esta unidad es variable, desde unos cuantos metros hasta 150 m en el cerro de Las Espinas, 370 m en el cerro de Las Estancia y 375 m en el cerro Grande (Simons y Mapes, 1957).

Distribución.- Aflora al oeste del área de San Pascual y Santa Gorgonia (Simons y Mapes, 1957) en forma de casquetes irregulares extendiéndose aproximadamente 2.5 km al suroriente del cerro de Las Espinas de donde toma su nombre.

Relaciones estratigráficas.- Se encuentra descansando discordantemente sobre la Formación Fanglomerado El Morro en ocasiones con interdigitaciones con las rocas de esta unidad. En algunas zonas se encuentran en contacto discordante sobre el Cretácico Superior.

Edad y Correlación.- Simons y Mapes (1957), por su posición con respecto a los conglomerados de la Formación El Morro calculan una edad de finales del Oligoceno y principio del Mioceno, por otra parte Kiyokawa, et al (1981) reportan edades radiométricas de K-Ar de alrededor de 30 M.a. para rocas de posición estratigráfica similar localizadas al norte de Ixmiquilpan, Hgo., por lo que se les puede asignar una edad del Oligoceno.

SISTEMA CUATERNARIO.

Formación Fanglomerado Zimapán.

Definición.- Fué definida por Simons y Mapes en 1957, para un conglomerado fluvio-lacustre que se encuentra en el valle de Zimapán.

Descripción.- Está constituido por guijas y guijarros de caliza, que varían de angulosos a subangulosos cementados por caliche. Su espesor máximo es de 15 m (Simons y Mapes, 1957).

Distribución.- Se encuentra ocupando el valle entre

Zimapán y la sierra de El Monte así como algunas partes al sur de Zimapán y al surponiente del Detzani.

Relaciones estratigráficas.- Sobreyace en algunos lugares a las rocas de la formación Las Espinas.

Edad y Correlación.- Se le asigna una edad del Pleistoceno. Se correlaciona con el Fanglomerado Daxhi.

Formación Fanglomerado Daxhi.

Definición.- Fue definida por Simons y Mapes en 1957 para un depósito aluvial muy similar al fanglomerado Zimapán.

Descripción.- Está constituido por fragmentos de caliza del Cretácico Inferior, angulosos, de hasta 1 metro de diámetro, cementados por caliche. Su espesor máximo es de algunos metros hasta 10 metros (Simons y Mapes, 1957).

Distribución.- Se encuentra cubriendo la ladera nororiental del cerro de Daxhi.

Edad y Correlación.- Se le asigna una edad del Pleistoceno y se correlaciona con el Fanglomerado Zimapán.

RECIENTE.

Depósitos de Terraza.

Se encuentran distribuidos a lo largo de los ríos Tolimán y Moctezuma y sus tributarios. Son depósitos de 1 a 2 metros y en algunos lugares existen terrazas de hasta 6 metros.

Depósitos aluviales.

Se encuentran ampliamente distribuidos en el valle de Zimapán y en los afluentes del río Tolimán. Alcanzan un espesor máximo de 10 a 12 metros (Simons y Mapes, 1957).

II.2. ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS Y METAMORFICAS.

Por lo que respecta a la actividad ígnea dentro del distrito se presenta una serie compleja de eventos.

Se han podido observar diques de andesita, basalto granofírico, basalto, riolita, latita cuarcifera, latita, diabasa augítica, pórfidos riolíticos y diques monzoníticos (variando en composición de cuarzomonzonita a granodiorita) (Simons y Mapes, 1957). Estos últimos son los más importantes tanto por su amplia distribución y tamaño, así como por ser los cuerpos ígneos directamente relacionados con la mineralización económica en el distrito. En ocasiones diques de esta composición contienen mineralización en forma diseminada y en vetillas, constituyendo cuerpos minerales de rendimiento económico, como es el caso de los diques Concordia, Tecolote, 1414, etc. en el área El Monte.

Según Pescador, R. (1985), por lo menos existen o pueden diferenciarse tres eventos ígneos dentro del distrito.

El primer evento está representado por la intrusión de cuerpos irregulares y diques de composición monzonítica con rumbos NW y NE. Estos cuerpos son los que originan la mineralización económica. Intrusionan a las rocas del Jurásico, Cretácico y del Terciario Inferior.

El segundo evento es el que da lugar a diques de composición intermedia de rumbo NW y NE que cortan a los del primer evento e intrusionan a toda la secuencia estratigráfica. Se ha observado que los diques pertenecientes a este evento no tienen relación genética con la mineralización.

Al tercer evento pertenecen los diques andesíticos de rumbo NE que cortan y desplazan a la Veta San José Maravillas en el socavón Bismarck. Estos diques se encuentran afectando únicamente a las Formaciones Fanglomerado El Morro y Las Espinas.

Según Spurr (1907) existen dos etapas de intrusiones ígneas de composición andesítica en el área de Santa

Gorgonia, una anterior y otra posterior a la mineralización de las vetas. Los diques pertenecientes a la segunda etapa cortan y desplazan tanto a los diques de la primera (que generalmente se encuentran silicificados) así como a las mismas vetas.

En cuanto a la edad del emplazamiento de los cuerpos ígneos asociados a la mineralización en el distrito de Zimapán, Hgo. existe poca información. González Caver, E., et. al. (1985) con base en el análisis de muestras tomadas en troncos y diques obtuvieron una isocrona de Rb/Sr en roca completa, de 62.62 M.a. (Paleoceno) que coincide con una edad de K/Ar de 62.2 M.a., de un intrusivo localizado cerca de Jacala, Hgo., a 40 Km de Zimapán. Por su parte, Gaytán Rueda (1971, 1975) reportó una edad de 38.7 +/- 0.8 M.a. (Eoceno Tardío) del tronco de la mina La Negra, en Maconi, Qro. ubicada a 18 Km al NW de Zimapán. Por otro lado, al oriente de San Nicolás y en Encarnación, las edades absolutas (K/Ar) son de 40.5 +/- 2.0 M.a. y de 50.9 +/- 2.5 M.a. respectivamente, lo cual indica que el tiempo de dichas intrusiones y la consolidación de estas rocas es del Eoceno Temprano a Tardío (Kiyokawa, M., et. al., 1980).

Villaseñor, G. (1987) sugiere que el Intrusivo Carrizal puede ser de una edad del Eoceno Temprano a Medio y no necesariamente del Paleoceno, con base en que los skarns que no contienen tungsteno o lo contienen en cantidades muy pequeñas (como es el caso de éste) son formados a profundidades menores que los que si lo contienen, como el dique Concordia en el área El Monte.

Las rocas metamórficas expuestas en el distrito son resultado de los efectos térmicos provocados por el emplazamiento de los cuerpos intrusivos presentes en la zona.

Las unidades afectadas son la Formaciones Tamaulipas, tanto en el área El Carrizal como El Monte, Soyatal y el Fanglomerado El Morro, en las áreas EL Carrizal y Tolimán.

Las rocas de la Formación Tamaulipas presentan diferentes cambios producto del emplazamiento de las

ERA	SISTEMA	EDAD m.a	SERIE	ESTADO	FORMACION	LITOLOGIA	DESCRIPCION LITOLOGICA	
CENOZOICA	CUATERNARIO	0.01	HOLD		ALUVION		Depósitos de terraza	
		2	PLEIS-TOCENO		FANGLOMERADO GAZI 60m.		Depósitos de abanicos aluviales	
	TERCIARIO	5	PLIO-CENO		FANGLOMERADO ZIMAPAN 15m.		Derrames andesíticos y basálticos	
		24	OLIGO-MIOCENO		LAS ESPUMAS 375m DESCORDANCIA			
		37	CENO		FANGLOMERADO EL MORRO		Fanglomerado calcáreo	
		58	EOCENO		400m. DESCORDANCIA			
		66	PALEOCENO					
	CRETACICO	CRETACICO SUPERIOR	75		SOYATAL		Lutitas y calizas	
			89		1000m.			
			91					
		98	CRETACICO INFERIOR	113	TAMAULIPAS 650m.		Caliza estratificada y Masiva	
				118				
	JURASICO	JURACICO SUPERIOR	144	TITONIANO - PORTLANCENSE	LAS TRANCAS 800m.		Lutitas, calizas y areniscas	
			152	MICO - APATIA				
156			MIANO					

COLUMNA ESTRATIGRAFICA
DISTRITO ZIMAPAN, HGO.

intrusiones ígneas, que van desde la decoloración del pedernal, formación de franjas de una roca de granate verde claro a vesubianita parda (en donde previamente existía pedernal), silicificación, marmolización y formación de skarn constituido principalmente de granate, diopsida, vesubianita, wollastonita, epidota y cuarzo. El metamorfismo de estas rocas generalmente está restringido a una aureola angosta de unas cuantas decenas de metros alrededor de los intrusivos.

Las rocas de la Formación Soyatal, por su parte, han sido metamorfizadas por el Intrusivo Tolimán a hornfels; una roca bandeada muy densa de grano fino, de color gris amarillento a gris verdoso con cantidades variables de pirita diseminada.

Al igual que la Formación Soyatal, el Fanglomerado El Morro ha sufrido cambios por efecto del emplazamiento del intrusivo Tolimán, siendo los principales, una decoloración del rojo al gris o gris amarillento, recristalización de la matriz calcárea a mármol impuro, desarrollo de granate en los fragmentos de caliza y transformación a hornfels de los fragmentos de caliza sílica o arcillosa. El metamorfismo de esta formación está restringido a una pequeña zona a lo largo del lado noreste del río Tolimán, entre el cerro de la Nopalera y el cerro del Arcabuz y que se puede observar sobre el camino a la mina Bismarck.

II.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Zimapán se encuentra en un área fuertemente afectada por esfuerzos compresivos que originaron un intenso plegamiento, en ocasiones difícil de interpretar.

Casi todas las estructuras dentro de las rocas cretácicas y la mayoría de las estructuras en rocas terciarias muestran un rumbo predominante N-NW (Simons y Mapes, 1957) cuya expresión fisiográfica es la Sierra Madre Oriental.

Las estructuras presentes en las rocas del Cretácico son

producto de la Orogenia Laramide; se pueden observar extensas cabalgaduras que llegan a tener traslapes de 2 a 3 Km, desarrolladas al oriente del banco calcáreo de El Doctor y en los linderos de la plataforma de Valles-San Luis Potosí, mientras que las rocas depositadas en cuenca o dentro de las plataformas exhiben un plegamiento intenso (González y Jaimes, 1986).

En el distrito las rocas mesozoicas forman parte del flanco suroccidental del anticlinorio de El Piñón el cual es una estructura laramídica limitada al NE por el sinclinal de El Aguacate y al SW por el sinclinal de Maconi, que tiene un ancho de 11 Km y se extiende a lo largo del cañón del río Moctezuma. La orientación de su eje es en dirección NW-SE; su flanco suroccidental está formado por una serie de pliegues tipo chevron o recostados con ejes subhorizontales con echados de sus planos axiales generalmente al SW. Tanto el techo como el flanco nororiental del anticlinorio consisten de varios anticlinales y sinclinales internos de superficies axiales subverticales que están estrechamente espaciados (Carrillo y Sutter, 1982).

La geometría del anticlinorio de El Piñón es asimétrica; el techo y el flanco nororiental tienen una inclinación promedio de aproximadamente 8° al NE.

Los principales pliegues en el distrito, mencionados del SW al NE son: anticlinal Malacate, sinclinal La Paz-Vaquero, anticlinal San Felipe, sinclinal Del Manantial, anticlinal Puerto de Angel y sinclinal La Placita.

Las rocas terciarias se muestran esencialmente sin plegar, descansan casi horizontalmente y sólo en algunos lugares se encuentran inclinadas por efecto de las intrusiones de cuerpos ígneos y del fallamiento post-laramídico.

El fallamiento está agrupado en dos conjuntos: uno está constituido por fallas, en su mayoría normales, con rumbo NW-SE desplazadas por fallas de un segundo sistema de rumbo NE-SW. El primero es premineralización, mientras que el segundo es post-mineralización. Las fallas más importantes

dentro del distrito son: la de El Malacate, San Pedro, Estancia y Mui. La primera es de tipo normal, orientada N45°W con echados de entre 65° y 70° al SW; su salto mínimo es, según Simons y Mapes (1957) de 540 m. La falla de San Pedro presenta un rumbo NW, con echados (en donde se han podido observar) de alrededor de 70°. Su salto mínimo es del orden de 100 m. Al norte de San Pedro se convierte en una falla inversa con buzamiento al NW. La falla Estancia, de rumbo N 30° W, es vertical con su bloque hundido hacia el lado NE. Su salto mínimo es de aproximadamente 90 m. Por último, la falla Mui, inferida a partir de evidencias fisiográficas, está orientada N-NW y desplaza a la falla El Malacate al W del cerro Mui.

II.4. YACIMIENTOS MINERALES.

Los yacimientos minerales en el distrito, como ya se ha mencionado, están genéticamente relacionados al emplazamiento de intrusivos de composición monzonítica- cuarzomonzonítica encajonados en rocas del Cretácico y Terciario.

Simons y Mapes (1957) clasificaron los yacimientos en dos tipos estructurales que son:

a) Yacimientos de reemplazamiento en caliza, divididos a su vez en yacimientos pirometasomáticos y mesotermiales, y

b) Yacimientos en forma de vetas en calizas arcillosas, conglomerados y rocas volcánicas, divididos en: vetas con ganga de cuarzo y vetas con ganga de calcita.

García Sánchez, G. (1982) de acuerdo con la roca encajonante agrupa los cuerpos minerales en:

a) Yacimientos metasomáticos de reemplazamiento en calizas (mantos y chimeneas),

b) Yacimientos masivos metasomáticos en cuerpos ígneos intrusivos y skarns adyacentes, y

c) Yacimientos vetiformes en calizas arcillosas,

fanglomerados, hornfels y rocas volcánicas.

En el presente trabajo, con la intención de dar una idea general de los yacimientos presentes en el distrito, acorde con las clasificaciones arriba anotadas, se hará mención de los diferentes tipos de yacimientos de acuerdo con la roca encajonante y los controles de la mineralización. Para ello, se tiene que los yacimientos en el distrito pueden agruparse, por áreas en: El Carrizal, El Monte y Tolimán.

En el área El Carrizal, pueden diferenciarse cuatro zonas con yacimientos minerales de características propias, que serán mencionados de acuerdo con la distancia que guardan respecto al intrusivo principal presente (Intrusivo Carrizal), comenzando por el más cercano a éste:

a) Zona la Cuña.- Presenta yacimientos en forma de diseminados y cuerpos masivos en endoskarn y exoskarn, mantos en los contactos de caliza masiva y sills de monzonita y skarn, con valores de plata, plomo, zinc y cobre.

b) Zona Las Animas.- Representada por cuerpos en forma de chimeneas y mantos en caliza masiva y estratificada, controlados por el contacto skarn- caliza, intrusivo principal y apófisis del mismo, plegamientos locales y vetas de rumbo N 20° W. Estos cuerpos están constituidos por sulfuros y sulfosales, con valores de plata, plomo, zinc y cobre.

c) Zona Balcones.- Se tienen chimeneas y mantos en caliza masiva y estratificada, controlados por el cruce de diques y plegamientos locales de rumbo N 80° E con echados al SE, constituidos por sulfuros y sulfosales.

d) Zona Lomo de Toro.- Son chimeneas y mantos de sulfuros masivos, sulfosales y óxidos. Las chimeneas se encuentran presentes en las zonas de fuerte fracturamiento producido por el plegamiento, en calizas masivas y estratificadas, en tanto que los mantos se encuentran alojados preferentemente en los horizontes de caliza masiva, al alto de estos, próximos al contacto con caliza

estratificada. Las chimeneas disminuyen en sus dimensiones a profundidad hasta convertirse en mantos o simples fracturas alimentadoras. Estos cuerpos presentan valores atractivos de plata, plomo, zinc y cobre.

Por lo que respecta al área de El Monte, pueden diferenciarse dos zonas principales.

a) Zona Concordia.- Se trata de un cuerpo vetiforme en skarn, al alto de un dique monzonítico, compuesto por sulfuros masivos y diseminados, sulfosales y óxidos encajonado en calizas (masivas y estratificadas). En partes el cuerpo económico se extiende hacia el intrusivo en forma de fracturas rellenas de sulfuros y como diseminaciones.

b) Zona Dolores.- Los yacimientos en ésta zona están representados por chimeneas controladas por el cruce y/o bifurcación de diques monzoníticos y sulfuros masivos y diseminados, tanto en los skarns desarrollados en los contactos dique-caliza, como en los diques mismos; los cuerpos están constituidos por sulfuros, sulfosales y óxidos.

Existen otras zonas con mineralización similar a la presente en Dolores, pudiéndose mencionar las siguientes: Tecomates-La Escondida, Chacuacos y Chiquihuites.

Por último, dentro del área Tolimán puede hacerse mención de dos zonas:

a) Zona Santa Gorgonia.- Representada por vetas de rumbo NW con echados al SW y NE, encajonadas en fanglomerado, rocas volcánicas y hornfels; están constituidas por sulfuros y óxidos con valores de oro, plata y plomo.

b) Zona Bismarck-Santo Niño.- Al igual que la anterior se tienen vetas de relleno de fisuras en fanglomerado y hornfels compuestas por sulfuros y óxidos con valores de oro, plata y plomo.

C A P I T U L O I I I

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

III.1. GEOLOGIA LOCAL.

Como ya se ha mencionado, la zona objeto de este trabajo se encuentra ubicada dentro de lo que se conoce como Area El Monte en donde actualmente se encuentran trabajando las minas El Monte, San Miguel y Dolores.

En el área se presentan las Formaciones Las Trancas y Tamaulipas. La primera aflora a aproximadamente 900 m al NW de la entrada a la mina El Monte, y consiste de arcosa color gris verdoso, grauvaca de color gris, capas delgadas de lutitas color rojizo y verdoso, interestratificadas con capas de caliza de color gris obscuro. El espesor de los estratos varia de 1 a 60 cm, siendo su rumbo general N 30° a 60° W con echados al SW y NE. La Formación Tamaulipas aflora en toda el área, integrada por dos miembros; el inferior compuesto por caliza de estratificación delgada, de color gris, con bandas y lentes de pedernal negro; ocasionalmente estas calizas alternan con lutitas y caliza arenosa de color rojizo. El espesor de los estratos varia desde 1 cm hasta 1 m, con un promedio de 10 cm; el miembro superior está constituido por caliza estratificada similar a la del miembro inferior, con la presencia de dos horizontes de caliza masiva fosilifera (horizontes Nos. 1 y 2), de aspecto arrecifal con lentes y nódulos de pedernal negro, en partes brechada. Estos horizontes presentan espesores que varian desde 10 hasta 40 m.

Las formaciones anteriores están intrusionadas por cuerpos monzoniticos y latiticos en forma de diques y en ocasiones de sills, algunos de los cuales no alcanzan a aflorar en superficie; los que lo hacen, muestran afloramientos discontinuos y fuertes flexiones y/o digitaciones; se observan oxidados y con diversos grados de

cloritización, argilitización y en partes silificación, en algunos casos presentan también aureolas restringidas de skarn y zonas de fuerte oxidación en los contactos con las calizas, que han sido exploradas mediante pequeñas obras mineras.

En el área, se tienen dos sistemas principales de diques, el primero de rumbo general N 30° a 40° W y echados de 70° a 80° al SW y NE y el segundo sistema, de rumbo N 70° a 80° W hasta E-W y echados de 75° al SE y Sur respectivamente. Los principales diques, dado su tamaño e importancia económica son los diques Concordia, Tecolote y 1414.

Por otro lado, se encuentra plegada, formando anticlinales y sinclinales recostados que a su vez forman parte del anticlinorio El Piñón. Los pliegues más sobresalientes son el anticlinal de Verdosas, que aloja en su flanco surponiente los yacimientos existentes en el área y el sinclinal y el anticlinal Tecolote. En general, los ejes de los pliegues muestran un rumbo promedio N 45° W con echado de sus planos axiales de 55° a 65° al SW. Además se tiene un sistema de fallamiento normal representado por fallas de rumbo NE con echados al SE entre 70° y la vertical, entre las que destacan las fallas San Juan, Tecolote, Arenal y Esmeralda. Hacia la parte NE se tienen dos fallas importantes, de rumbo NE 65° SW que desplazan al dique Concordia, la falla Concordia, en el extremo SE del dique y la falla Guadalupe hacia el extremo NW. Estas estructuras son también de tipo normal con desplazamiento lateral izquierdo de entre 40 a 60 m y desplazamiento vertical de no menos de 30 m.

Por último, se puede mencionar, que se ha podido distinguir la presencia de dos sistemas principales de fracturamiento, un sistema N 30° a 40° W y echados de 80° al SW, que concuerda con el rumbo de las caliza, y el sistema N 70° a 80° E con echados de 70° a 80° al SE; en algunas zonas, fracturas de ambos sistemas se encuentran rellenas de calcita y en ocasiones de aragonita; en la porción oriente del área, se pueden observar fracturas, pertenecientes al primer sistema, rellenas de mineral oxidado, extendiéndose desde la zona Dolores hasta el dique Concordia.

III.2. YACIMIENTOS MINERALES.

Dentro del área minera El Monte existen tres zonas importantes con yacimientos minerales económicos con características diferentes, Concordia, Dolores y Tecomates-La Escondida.

En esta parte del trabajo se hará una descripción breve de los yacimientos ubicados en dichas zonas para dar idea del tipo de yacimiento buscado con el estudio geofísico .

III.2.1. ZONA CONCORDIA.

Se encuentra ubicada hacia la parte NE del área mostrada en el plano del Anexo No. 4 . En esta zona se localizan las minas El Monte y San Miguel. Como ya se mencionó, en el área afloran calizas de la Formación Tamaulipas que se encuentran intrusadas por diques monzoníticos que originan en los contactos zonas restringidas de skarn de granate (andradita-grossularita) y wollastonita.

El intrusivo más importante desde el punto de vista económico es el dique Concordia al cual está asociado el cuerpo mineral de mayores dimensiones; está constituido por fenocristales de cuarzo, feldespatos (oligoclasa y andesina) y biotita en una matriz afanítica compuesta por albita, oligoclasa, ortoclasa y cuarzo con cantidades menores de biotita y hornblenda (Simons y Mapes, 1957; García Sanchez, 1982).

El dique Concordia es un intrusivo de forma tabular de rumbo N 30° W y echado de 75° al SW, con espesor que varía de 20 a 40 m (aumentando a profundidad) con una longitud de afloramiento de 450 m. Hacia los extremos el intrusivo reduce su espesor a varios metros, con apófisis que se interdigitan con zonas de skarn. Se encuentra desplazado por un sistema de fallas normales orientadas NE-SW con echados al SE, de las cuales la más importante como ya se ha mencionado es la falla Concordia que desplaza al intrusivo en forma lateral

aproximadamente 40 m. (García Sánchez, 1982; Navarro Barrera, R. 1982).

En los alrededores del dique Concordia se observa una recristalización de la caliza a mármol, así como una alteración metasomática de la caliza, mármol y pedernal a skarn. El skarn (exoskarn) forma cuerpos paralelos al dique tanto al alto como al bajo del mismo. El espesor de los cuerpos de skarn varía de menos de 1 m hasta 15 m, siendo el skarn de alto más ancho que el del bajo del dique. El exoskarn es de textura granoblástica de grano fino a medio y está constituido por granate (andradita y grossularita), calcita, wollastonita, diópsida, vesuvianita, epidota, clorita, cuarzo, piritita y hematita (García Sánchez, 1982). El endoskarn se manifiesta por concentraciones longitudinales de algunos centímetros hasta 2 m de espesor de silicatos, siendo los más importantes el granate (grossularita y andradita), wollastonita, diópsida, epidota, clorita y cuarzo con calcita y piritita de granos de tamaño variable.

Las alteraciones hidrotermales más notables en el cuerpo Concordia son la silicificación, piritización, cloritización, argilitización, propilitización y carbonatación (García Sánchez, 1982).

El yacimiento mineral asociado al dique Concordia es el resultado de la circulación de fluidos hidrotermales (mismos que ocasionan las alteraciones arriba mencionadas) a través del dique y skarn previamente fracturados. El cuerpo mineral es de forma tabular y se encuentra emplazado en el alto del intrusivo dentro de la zona de metasomatismo y en el propio intrusivo, en forma diseminada y a lo largo de fracturas irregulares (se pueden distinguir dos sistemas de fracturas mineralizadas de rumbo N 35° W y N 55° E). La mineralización económica disminuye hacia el bajo de la estructura, restringiéndose notablemente en el skarn del bajo. La potencia media del cuerpo mineralizado es de 25 m, de los cuales 5 m corresponden al skarn del alto y los 20 m restantes están dentro del intrusivo.

Composición mineralógica.- La mineralogía de este cuerpo es muy compleja. Los minerales económicos se encuentran tanto

en forma de sulfuros masivos como diseminados en la zona de skarn y en fracturas y diseminación en el intrusivo.

De acuerdo con el estudio realizado por Gemell B. (1983), quien analizó 41 secciones pulidas de muestras de skarn y dique tomadas en diferentes lugares a distintas elevaciones en el bloque Concordia NW de la mina El Monte, los minerales en orden de abundancia son: pirrotita, arsenopirita, esfalerita, calcopirita, pirita, galena, tetraedrita, boulangerita, jamesonita, cubanita, mackinawita, argentita, bornita, marcasita, covelita, scheelita y powelita.

Paragénesis y zoneamiento.- Navarro Barrera (1982) postuló una secuencia paragenética simple para la mineralogía de sulfuros en el bloque Concordia NW: pirrotita-pirita-arsenopirita-calcopirita-esfalerita-galena.

Verticalmente se tiene un zonamiento para el yacimiento. Se tienen datos para el bloque Concordia NW. De acuerdo a lo observado por Gemell (1983) en su estudio minerográfico, las muestras del nivel -229 contienen abundante esfalerita y galena en el skarn con el predominio de pirrotita, arsenopirita y scheelita en el dique. En el subnivel 4 las muestras se observan débilmente mineralizadas con esfalerita en el skarn y scheelita más abundante en el dique. La mineralización en el nivel -333 es más masiva que en los niveles superiores con esfalerita, galena y calcopirita concentrados en el skarn y pirrotita y scheelita concentrados en el dique. Las muestras tomadas de barrenos perforados por debajo del nivel -333 muestran tendencia a una mineralogía simple de grano fino con esfalerita, galena, calcopirita y pirita a lo largo del dique. Según decrece la distancia al dique, el grano se hace más grueso y la mineralogía se torna más compleja con adición de argentita y boulangerita.

Según Navarro Barrera (1982) de acuerdo con los resultados del muestreo, el plomo tiende a disminuir, tanto al bajo del cuerpo como a profundidad. La plata sufre una disminución en menor proporción que el plomo, debido quizás a que a profundidad esté asociada con la pirita, ya que éste sulfuro aumenta. El zinc permanece constante con tendencia a

augmentar hacia el bajo del cuerpo y a profundidad. El cobre, al igual que la pirita, aumenta con la profundidad.

III.2.2. ZONA DOLORES.

Esta zona está ubicada al SE del área mostrada en el plano del Anexo No.4 . Dentro de la zona se encuentra la mina Dolores que se trabaja actualmente.

Una característica importante en la zona, es la confluencia de diques de los dos sistemas presentes en el área; al sistema NW-SE pertenecen los diques San Juan, 835 y 1350 con echados al SW y al sistema E-W los diques Chacuaco, 1474, 1436, 1414 y Tecolote con echados al sur (algunos de los diques mencionados se conocen únicamente por medio de obras subterráneas).

La mineralización metálica está directamente asociada a los diques de composición monzonítica y latítica, presentándose en sus contactos, entre capas de caliza cercanas a estos, en zonas de intersección de diques de los dos sistemas mencionados y en zonas de intersección de diques con horizontes de caliza masiva en forma de chimeneas y mantos.

Intervienen en la formación de los cuerpos mineralizados dos procesos principales:

1).- Reemplazamiento en calizas.

Resultado de la actividad desarrollada entre soluciones hidrotermales y las calizas. Las zonas favorables se localizan en la intersección, digitación y flexiones de los cuerpos ígneos. Se puede observar un halo de reemplazamiento de sulfuros y silicatos con un radio de 3 a 15 m a partir de la intersección de las estructuras.

2).- Reemplazamiento metasomático.

Resultado de la acción desarrollada por las soluciones

hidrotermales entre las rocas ígneas y las calizas encajonantes.

Las principales estructuras son el dique Tecolote, dique 1414 y el sill 1350. El dique Tecolote de composición monzonítica presenta mineralización al alto en forma de vetillas y disseminados con rumbo que varía de N 35°W a N 60°E con flexiones. Cuando este dique tiene rumbo NW es cuando presenta valores de interés. Su potencia varía de 3 a 13 m.

Las alteraciones hidrotermales en el dique Tecolote no son tan evidentes como en el dique Concordia pero se puede apreciar cloritización y silicificación.

El dique 1414 es un cuerpo de composición latítica que se digita hacia el NE en varios brazos dentro de los cuales sobresale el brazo 1400, el cual presenta en sus flexiones bolsadas de mineral económico (esfalerita, galena en ganga de pirita y calcita).

El sill 1350 merece una especial atención debido a que controla el manto del mismo nombre. Es de composición latítica con rumbo N 35° W y echado de 60° al SW, tiene una potencia de 0.40 m y genera un halo de alteración de silicatos con sulfuros disseminados de 1.25 m de espesor por 80 m de largo y 125 m de ancho.

Los cuerpos en forma de chimenea están representados por las chimeneas Nos. 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Tienen, en general, forma burdamente elíptica, con el eje mayor de entre 10 y 15 m y están formadas por sulfuros masivos y óxidos de Pb-Zn con valores de Ag y se encuentran encajonados tanto en caliza masiva como estratificada.

III.2.3. TECOMATES - LA ESCONDIDA.

Está localizada a 650 m al S 73° W de la mina El Monte , a la elevación de 2410 m.s.n.m.. Se caracteriza por presentar una serie de diques y sills de composición monzonítica que por sus diversos rumbos y echados forman una

especie de stock-work, que intrusiona a las calizas, las que se presentan intensamente plegadas. Algunos cuerpos intrusivos ocurren a lo largo de los ejes de anticlinales y sinclinales y otras con rumbos casi perpendiculares a éstos. Sus dimensiones varían desde 1 hasta 5 m de ancho por 10 hasta 230 m de largo. La mineralización en superficie está constituida por: arsenopirita, pirita, esfalerita, pirrotita, galena, calcita, cuarzo y granate. Llegan a formar bolsadas al cruce o bifurcación de diques, así como pequeños mantos entre capas de caliza y en los contactos con intrusivos.

Estas intersecciones de diques han servido como controles para las soluciones mineralizantes y son guías que ayudan en la prospección.

La mineralización en esta zona se encuentra confinada en los contactos de los diques, tanto al alto como al bajo y está constituida principalmente de esfalerita, calcopirita y pirita diseminados en silicatos (skarn con abundante granate) con una marcada ausencia de plata y plomo. El ancho promedio de estos cuerpos es de 2 m con una longitud reconocida de 10 m en el nivel 0 y una profundidad de 240 m desde superficie hasta el nivel -40.

Al NW de la zona de silicatos con sulfuros diseminados en el nivel Tecomate 1, hay una serie de mantos ricos en plomo, plata y zinc que parecen ser estratos de caliza reemplazada, ya que en los contactos del alto y bajo se observan bandas de pedernal que no sufrieron cambio alguno. Estos mantos tienen un rumbo general de N 50° E y echados de 50° - 70° al SW y NE.

Génesis de los yacimientos.- La génesis de los yacimientos puede dividirse en 7 etapas:

- 1) Depósito de formaciones en un ambiente miogeosinclinal del Jurásico Superior al Cretácico Superior.
- 2) Plegamiento y fallamiento de los sedimentos durante la Orogenia Laramide en el Paleoceno- Eoceno Inferior.
- 3) Intrusión de diques monzoníticos y latíticos durante

el Oligoceno al Mioceno.

4) Metamorfismo de contacto que produce recristalización de la caliza a mármol. Seguido de este metamorfismo sobreviene un evento de metasomatismo de contacto formando cuerpos de skarn.

5) Fracturamiento de los diques por enfriamiento.

6) Circulación de fluidos mineralizantes a través de fracturas y depositación de mineralización de sulfuros. Dichos sulfuros fueron depositados como relleno de fracturas, diseminados y vetas dentro de los diques, como lentes, masas y diseminados en los skarns y como cuerpos masivos en las calizas.

Simons y Mapes (1957) postulan que el evento mineralizante ocurrió durante el Mioceno Superior al Plioceno Inferior. Sin embargo, esta edad puede no ser correcta para el caso de los cuerpos en skarn y calizas (asociados a las intrusiones de cuerpos ígneos monzoníticos), debido a que dicho evento debió haber sucedido al momento de la intrusión o bien durante las etapas de enfriamiento de las rocas, por lo que correspondería al Eoceno-Oligoceno.

Villaseñor (1987) señala en cuanto a la mineralización presente en la zona Tolimán, que el evento mineralizante debe situarse en el Oligoceno ya que las rocas volcánicas que encajonan dicha mineralización fueron fechadas en 28 M.a. y que tal evento debe estar relacionado con el vulcanismo y no con intrusiones.

7) Fallamiento post-mineralización que desplaza los diques y calizas.

La fuente de la mineralización no ha sido determinada. Posiblemente incluye a los mismos diques (por enfriamiento) o el enfriamiento de un magma más profundo interconectado con los diques.

C A P I T U L O I V

DESCRIPCION DEL ESTUDIO GEOFISICO.

IV.1.- DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO.

El estudio geofísico que se describe en este trabajo, fue realizado empleando el método eléctrico de polarización inducida y resistividad aparente en el dominio del tiempo, basado en el análisis de la distribución en profundidad de tales variables, dentro de un campo de potencial eléctrico artificialmente creado.

Aquí, se hará una breve descripción, tanto de los aspectos teóricos más importantes en que se basa el método, así como del arreglo electródico y equipo utilizados.

IV.1.1. ASPECTOS TEORICOS.

IV.1.1.1. POLARIZACION INDUCIDA.

El fenómeno de polarización inducida es observado cuando la aplicación de corriente eléctrica controlada en el subsuelo ha sido interrumpida y el campo eléctrico creado no desaparece bruscamente, si no de una manera lenta.

Los efectos de polarización inducida ocurren siempre que en determinada masa de terreno sobre la que se efectúa las mediciones, existen conductores metálicos e iónicos a la vez.

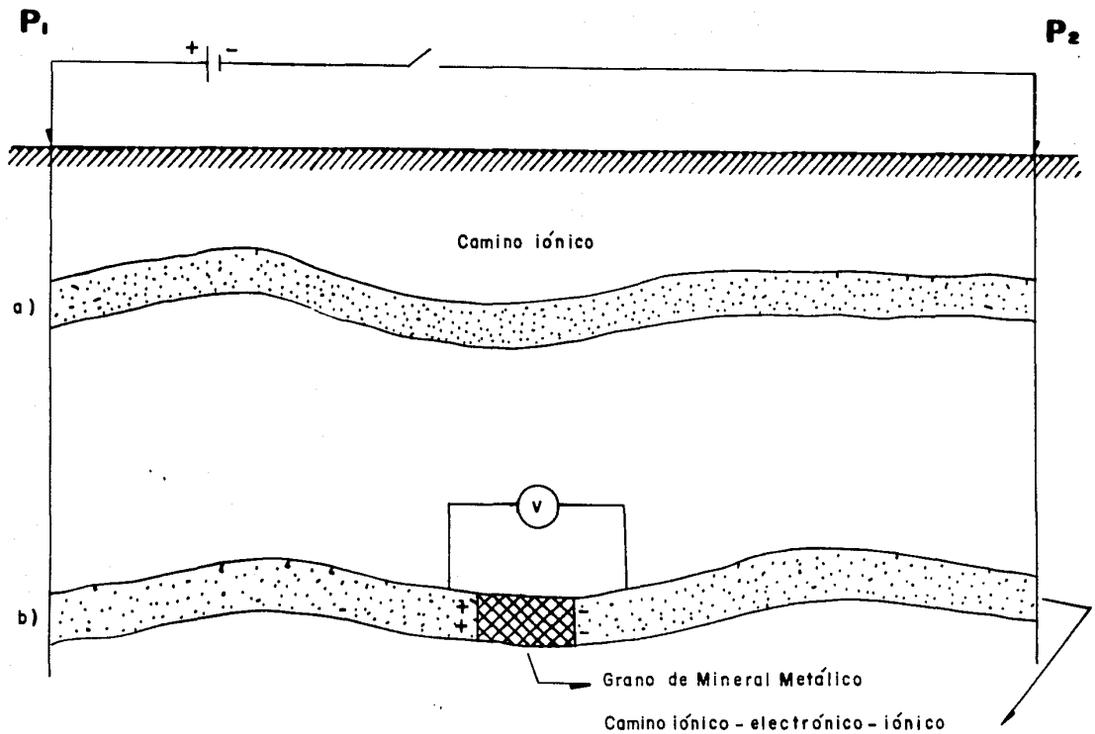
Los iónicos o electrolíticos son aquellos que conducen la electricidad por medio de iones. Estos iones llenan los

espacios saturados de agua en las rocas, tales como las arcillas.

Los conductores metálicos o electrónicos son aquellos que conducen la electricidad por medio de los electrones. Los conductores electrónicos naturales incluyen la mayoría de los sulfuros de los metales básicos, algunos óxidos y el grafito. Este grupo de minerales se llama comúnmente minerales metálicos.

El método de polarización inducida está basado en las propiedades eléctricas mostradas por los conductores electrónicos envueltos en una matriz conductora electrolítica. En efecto, cuando esto sucede, el fenómeno de polarización inducida resulta de la acción de bloqueo o polarización de estos conductores electrónicos en el medio de conducción iónica y ocurre precisamente en las intercaras en donde el modo de conducción cambia de iónica (en las soluciones que llenan los espacios de los poros de las rocas) a electrónica (en los minerales metálicos), acumulándose las cargas iónicas, en el límite electrolito-partícula, las positivas donde la corriente penetra en la partícula y las negativas donde sale. (Fig. 2). Las cargas iónicas formadas crean un voltaje que tiende a oponerse al flujo de corriente que cruza la partícula metálica y ésta se dice que está polarizada. Cuando se interrumpe la corriente sigue existiendo un cierto tiempo, un voltaje residual debido a que estas cargas iónicas depositadas sobre las caras de las partículas se difunden lentamente dentro de los poros del electrolito. Este voltaje residual que decrece rápidamente con el tiempo es el que origina el efecto de polarización inducida.

El fenómeno en la naturaleza resulta más complicado de lo descrito aquí y ello es debido al efecto análogo que ocurre en las partículas de arcillas, que se llama polarización de membrana y que produce efectos de polarización inducida. Es por ello que, si se considera el efecto de polarización inducida como parámetro único de medición, el estudio de un área determinada resulta complicado, puesto que, los efectos de polarización inducida no pueden ser interpretados como absoluta evidencia de la



**FENOMENO DE POLARIZACION EN CONTACTOS
MINERAL - ELECTROLITOS**

Fig. No. 2

presencia de minerales metálicos. Por lo tanto, es importante considerar otros parámetros geofísicos más para la interpretación adecuada de los resultados; en este caso se empleó la resistividad.

IV.1.1.2. METODO DE MEDICION.

Se han desarrollado dos métodos principales para medir los efectos de polarización inducida en la exploración minera, que son: dominio del tiempo y dominio de la frecuencia.

En el método de Impulso Transitorio, la polarización se detecta como una pequeña corriente amortiguada, que fluye después de que una corriente continua aplicada, es conectada y desconectada en intervalos regulares de tiempo (generalmente de 2, 4 y 8 segs en equipos Scintrex). La medida real se hace en términos de la pequeña cantidad de tiempo en que esta corriente fluye. Esta medida se describe en la literatura geofísica como realizada en el DOMINIO DEL TIEMPO.

En el método de frecuencia variable, se efectúa la medida en términos del efecto producido por el cambio de frecuencia de la corriente aplicada y la polarización en el terreno se detecta por la disminución de la resistividad aparente cuando aumenta la frecuencia de la corriente aplicada. Este método se conoce como DOMINIO DE LA FRECUENCIA.

IV.1.1.3. PROCESO DE CAMPO.

En esta parte sólo se hará mención del proceso que se emplea para la medición del efecto de polarización inducida en el dominio del tiempo, que es el método utilizado en el estudio descrito en este trabajo.

Consiste en inyectar una corriente continua en el

terreno a intervalos regulares de tiempo interrumpiéndola súbitamente, de tal modo que pueda ser registrada o medida la curva correspondiente a la caída del voltaje.

La cargabilidad (M) 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 (en milivoltios-segundo). Este valor se normaliza relacionándolo con el voltaje primario (U_{ss}) medido mientras se inyectó la corriente al terreno para obtener el valor de cargabilidad absoluto:

$$M = 1/U_{ss} \quad U t \, dt$$

los resultados se expresan en:

$$M = (mV \cdot \text{seg})/V = m\text{-seg}$$

IV.1.1.4. RESISTIVIDAD APARENTE.

Fisicamente, la resistividad es una medida de la dificultad de paso que la corriente eléctrica encuentra al atravesar un material determinado; si, en cambio, se considera la facilidad de paso, resulta el concepto de conductividad eléctrica (σ), que expresado numéricamente será el inverso de la resistividad.

Las unidades de medida en el sistema MKS para la resistividad y la conductividad son respectivamente el ohm-metro y el mho/metro.

El método de resistividad aparente está basado 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 eléctrico. El mayor o menor grado de alteración del

potencial eléctrico en la superficie del terreno depende del tamaño, forma, localización y conductividad o resistividad eléctrica de los cuerpos del subsuelo.

El procedimiento básico consiste en medir el voltaje primario (entre los electrodos de medición) en la superficie, asociado a una corriente de intensidad conocida que circula por el subsuelo.

La expresión general para calcular la resistividad aparente es:

$$R_o = K (V/I)$$

en donde, K es una magnitud que se determina de acuerdo con el arreglo electródico empleado en las mediciones.

Para el caso presente se empleó la expresión:

$$R_o = (\pi * V / I) * (n * (n+1) * (n+2))$$

en donde:

R_o = Resistividad aparente en ohms-metro.
V = Voltaje primario en milivolt-segundo.
I = Intensidad de corriente en amperes.
π = Constante pi 3.1416.
n = Nivel de penetración.

IV.1.2. ARREGLO ELECTRODICO EMPLEADO.

Para los levantamientos de campo de polarización inducida existe gran diversidad de arreglos electródicos, los cuales son los mismos que se emplean en el método de resistividad aparente. En general, los dispositivos

electrónicos están formados por cuatro electrodos, dos de ellos, A y B, que son por los que circula la corriente (circuito de emisión) y los otros dos, M y N, entre los cuales se mide la diferencia de potencial (circuito de medición) creada por los electrodos de corriente A y B. Entre los arreglos más comunes se tienen los siguientes: Wenner, Schlumberger, Polo-Dipolo y Dipolo-Dipolo.

Para llevar a cabo el levantamiento geofísico del estudio que en este trabajo se trata, se empleo el arreglo Dipolo-Dipolo. La distancia entre electrodos de corriente y de medición usada fue de 100 m, con separación entre dipolos de 100, 200, 300 y 400 m ($n=1, 2, 3$ y 4), para obtener información a cuatro diferentes profundidades (Fig. 3).

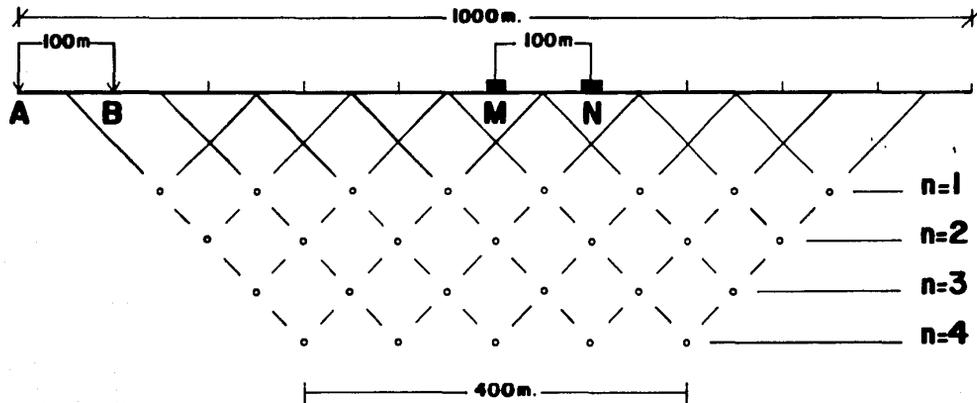
IV.1.3. EQUIPO UTILIZADO.

IV.1.3.1. UNIDAD DE TRANSMISION.

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

El generador de corriente utilizado está formado por un motor de combustión interna marca Volkswagen y un generador marca Bendix, capaz de producir voltajes de 180 220 volts.

El transmisor empleado es marca Scintrex, modelo TSQ-4 con una potencia de 10 Kw de salida.



**ARREGLO DIPOLO-DIPOLO Y SU APILAMIENTO
DE LECTURAS CORRESPONDIENTES**

IV.1.3.2. UNIDAD DE MEDICION.

Esta unidad está formada por un medidor de voltaje o receptor IPR-8 con duración de pulsos de 2 segundos, que trabaja en el dominio del tiempo y puede medir el área bajo la curva de decaimiento en una sola integración, o bien, en tres o seis fracciones.

IV.1.3.3. ELECTRODOS.

Como electrodos del circuito de emisión o electrodos de corriente, se emplearon varillas de acero de 2 cm de diámetro y de 60 cm de longitud, mientras que para los electrodos de potencial se emplearon vasos de cerámica (tazas), cuya parte inferior es porosa y permeable, con una varilla de cobre colocada en su interior; estas tazas se llenan con una solución acuosa de sulfato de cobre.

IV.2. TRABAJOS REALIZADOS.

El levantamiento geofísico de polarización inducida y resistividad aparente, como ya se ha mencionado, se realizó empleando el arreglo Dipolo-Dipolo, con una separación entre electrodos de 100 m y con una separación entre dipolos de 100, 200, 300 y 400 m.

Previamente a los levantamientos geofísicos sistemáticos, se efectuó el trazado de líneas y el estacado de las estaciones para la colocación de electrodos. El trazado de las líneas se hizo empleando brújula y cinta, mientras que la línea base (perpendicular a éstas) se trazó utilizando teodolito, así como para el ligado de los puntos extremos de cada una de las mencionadas líneas, logrando con ello un buen control topográfico de éstas.

Las líneas tienen un rumbo N-S (aproximadamente

perpendiculares al dique Tecolote), con una separación entre estas de 100 m. Las líneas Nos. 10, 11, 12 y 13 se desplazaron 100 m hacia el sur, con respecto a las restantes, debido a la flexión que sufre el dique Tecolote hacia la parte oeste de la zona. Las líneas 3.5, 4.5 y 5.5 se encuentran a una distancia de 50 m con respecto a las líneas vecinas.

El kilometraje total cubierto por los levantamientos geofísicos es de 16.6 Km lineales. El desglose del cubrimiento por líneas se puede observar en la tabla siguiente:

LINEA	KM CUBIERTO
1	1.0
2	1.0
3	1.0
3.5	1.2
4	1.0
4.5	1.2
5	1.0
5.5	1.2
6	1.0
7	1.0
8	1.0
9	1.0
10	1.0
11	1.0
12	1.0
13	1.0
TOTAL	16.6 KM

Las líneas 3.5, 4.5 y 5.5 corresponden a una segunda etapa del trabajo geofísico; la finalidad de éstas fue detallar dos anomalías de polarización inducida y resistividad aparente que resultaron en los levantamientos a lo largo de las líneas 2, 3, 4 y 5.

Por otra parte, se elaboraron las secciones geológicas de cada una de las líneas, como apoyo a la interpretación geofísica de los levantamientos.

Con los valores de polarización inducida obtenidos en los levantamientos y de resistividad aparente calculadas, se elaboraron secciones geoelectricas de cada una de las líneas, asignando los valores leídos a los puntos ubicados a la profundidad equivalente a la intersección de líneas trazadas a 45° , a partir del centro de los dipolos.

Con estos valores se hizo la configuración manual de las curvas de isovalores.

Por último, se elaboraron planos de las configuraciones en planta de los cuatro niveles de investigación, tanto para los datos de polarización inducida, como para los de resistividad aparente.

Con las configuraciones así obtenidas se procedió a realizar la interpretación cualitativa, que consiste básicamente en definir anomalías, esto es, delimitar zonas en donde el parámetro representativo utilizado (en este caso polarización inducida y resistividad aparente) sea mayor que el valor de fondo o "background" observado en el área y que corresponde al valor medio registrado en las zonas estériles.

Para los valores de polarización inducida se determinó que las respuestas menores a 36 milisegundos pueden ser consideradas como pertenecientes a zonas estériles y las respuestas mayores a este valor son consideradas como anómalas.

Con respecto a los valores de resistividad aparente, se consideraron como anomalías a las respuestas menores a 200 ohms-metro, siempre y cuando estuvieran relacionadas con valores altos de polarización inducida.

Para efecto de este trabajo, se incluyen dos planos (Anexos Nos. 5 y 6), uno para polarización inducida y el otro para resistividad aparente con la configuración de las curvas de isovalores, que representan los límites inferiores de las

anomalías (valor de fondo o background) para los cuatro niveles de penetración (N=1, N=2, N=3 y N=4).

IV.3. RESULTADOS OBTENIDOS.

De acuerdo con los valores de fondo o background determinados (36 msecs y 200 ohms-m para polarización inducida y resistividad aparente, respectivamente) se obtuvieron cuatro zonas anómalas, definidas como Zona I, II, III y IV.

A continuación se hará una descripción de cada una de estas zonas.

ZONA I.- Es la zona anómala más importante, por su posición, extensión, intensidad y gradientes mostrados. Se encuentra ubicada en la porción sur del área cubierta, con una ligera tendencia hacia el sureste. Se encuentra entre las líneas 3 y 5.5, con su máxima respuesta de polarización inducida de 79 mseg ubicada en la línea 4.5 a 50 m al sur de la línea base (ver Anexo No.5). Además esta zona presenta una respuesta similar a la Zona III provocada por la mineralización existente en el área Tecomates- La Escondida, que se conoce por medio de obras subterráneas.

La anomalía de polarización inducida presenta respuesta para las cuatro separaciones de electrodos (N=1,2,3 y 4), indicando que el material que está produciendo dicha respuesta se presenta desde una profundidad somera hasta la máxima detectada.

En el nivel N=1, se observan dos altos anómalos ubicados, uno sobre la línea 5 hacia la estación 300 Sur y el otro entre las líneas 4 y 4.5, entre las estaciones 200 y 300 Sur, con valores de 42 a 44 mseg.

En el nivel N=2, la anomalía de polarización inducida se hace mucho más amplia, registrándose valores de entre 44 y 54 mseg en las líneas 3.5, 4, 4.5, 5 y 5.5.

Hacia los niveles N=3 y N=4, la anomalía se torna más formal, con un incremento en los gradientes mostrados, quedando ubicada entre las líneas 3.5 y 5. En N=3 se registran valores desde 34 mseg, entre las estaciones 200 y 400 Sur y en N=4 con valores de 43 mseg hasta 79 mseg que corresponde al más alto registrado (ver Anexo No.5).

Por el método de Resistividad Aparente, también se obtuvo respuesta para las cuatro separaciones de electrodos.

En general las anomalías de resistividad aparente corresponden con las observadas en polarización inducida. Sólo para el nivel N=1, la respuesta no está muy bien definida, encontrándose desplazada hacia el NW, tal vez por efecto topográfico (ver Anexo No.6).

Si se observa el plano geológico del área (Anexo No.4) se puede deducir que la anomalía de la Zona I, se encuentra sobre el "trend" de diques del área Tecomates- La Escondida (de rumbo NW-SE), los cuales se encuentran directamente relacionados con los cuerpos mineralizados conocidos en esa área. Por otra parte, las anomalías presentes en los niveles N=3 y N=4, se encuentran aproximadamente a la misma elevación sobre el nivel del mar que los afloramientos de las chimeneas en las zonas Tecomates-La Escondida y Dolores (2400 m.s.n.m.). Por lo anterior, se cree que en la zona anómala I puedan existir cuerpos mineralizados asociados a diques del sistema NW-SE que no afloran en el área o bien no pudieron ser observados debido a los escasos afloramientos existentes.

De acuerdo con las secciones A-A', B-B' y C-C', (Anexos Nos. 8, 9 y 10) trazadas perpendicularmente a la anomalía de la Zona I, se puede observar que el material que las está produciendo (que probablemente se trate de sulfuros), puede estar relacionado con un dique monzonítico encajonado en calizas estratificadas. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que la mineralización que está produciendo la respuesta, esté relacionada al horizonte No. 2 de caliza masiva que puede estar replegado en esta zona.

Por lo arriba anotado, se concluye que la anomalía

presente en la Zona I, debe ser investigada con barrenación de diamante.

Se ha propuesto la ejecución de 5 barrenos para investigar la Zona I, a la profundidad de los niveles N=2, 3 y 4, que se detallan en la siguiente tabla:

No.	B.D.D.	RBO.	INCL.	LONG.	SECCION
1		N 47° E	-64°	330 m	B-B'
2		N 47° E	-61°	350 m	A-A'
3		N 47° E	-60°	300 m	C-C'
4		N 47° E	-54°	320 m	B-B'
5		N 47° E	-60°	250 m	C-C'

Los barrenos 4 y 5 son opcionales de acuerdo con los resultados que se obtuvieran en los primeros 3 barrenos.

La ubicación en planta de los barrenos se muestra en el plano del Anexo No. 7.

ZONA II.- Las anomalías presentes en esta zona son las de más pobre respuesta. Se pueden observar valores anómalos para los niveles N=1, 2 y 3, para polarización inducida entre las líneas 1 y 3, quedando las curvas abiertas hacia el norte. No se obtuvo respuesta para N=4 debido a la escala del levantamiento realizado. Los valores de polarización inducida fluctúan entre 36 y 47 mseg.

Por lo que respecta a resistividad aparente, la respuesta es vaga, mostrando curvas de anomalía abiertas hacia el este y desplazadas con respecto a las curvas de polarización inducida. Estas se encuentran entre las líneas 1 y 2.

La respuesta geofísica de esta zona se cree es provocada por la mineralización presente en la mina El Monte, constituida por sulfuros diseminados en skarn, de una estructura en forma de manto (concordante a la estratificación) que actualmente se está explorando, conocida con el nombre de Manto Esperanza, cuyos afloramientos en superficie están constituidos por lo que se conoce como Vetas Chiquihuites.

ZONA III.- Esta zona está representada por una anomalía de regular tamaño que se correlaciona con la mineralización conocida en el área Tecomates- La Escondida, en donde existen cuerpos de sulfuros masivos y diseminados asociados a cruces y bifurcaciones de diques monzoníticos. Por ser ésta una zona ampliamente conocida no se abundará en la descripción del comportamiento de las anomalías encontradas.

La anomalía se encuentra al norte del área cubierta con los levantamientos, se observa entre las líneas 7 y 9 y las estaciones 100 a 300 Norte; presenta respuesta de polarización inducida para tres separaciones de electrodos N=1, N=2 y N=3; en N=4 no se obtuvo respuesta debido a los parámetros utilizados en el levantamiento. Los valores de polarización inducida se encuentran entre 38 y 64 mseg.

La anomalía es bastante homogénea para los niveles N=1 y N=2, presentando aproximadamente la misma tendencia, intensidad y gradiente. Con la apertura de electrodos correspondiente a N=3 no se tuvo una respuesta bien definida debido a que por las características del arreglo y la distancia interdipolar empleada, así como por la longitud de las líneas, sólo se logró registrar el extremo sur de la anomalía. Por la misma razón, la anomalía quedó abierta hacia el norte.

ZONA IV.- Esta zona anómala corresponde a la segunda en importancia, de las cuatro detectadas con el estudio. Se localiza en la parte oriente del área cubierta por los levantamientos, entre las líneas 2 y 4 y entre las estaciones 100 Norte y 100 Sur.

En esta zona se obtuvo respuesta de polarización

inducida para las cuatro separaciones de electrodos (N=1,2,3 y 4), con una máxima respuesta de 71 mseg en el nivel N=4 sobre la línea base.

A profundidad la anomalía va siendo cada vez más amplia aumentando también en intensidad.

En el nivel N=1 la respuesta es pobre, estando reflejada sólo en una lectura de 41 mseg ubicada sobre la línea 3.5 a 150 m al sur de la línea base.

En los niveles N=2 y N=3 la anomalía se amplía cubriendo una zona ubicada sobre la línea base aproximadamente a 50 metros al norte y sur de ésta entre las líneas 3 y 4. La respuesta máxima es de 69 mseg. En N= 3 la anomalía queda abierta hacia el norte.

Hacia el nivel N=4, la zona anómala está comprendida entre las líneas 2 y 4 cubriendo un área ubicada de la línea base hasta 200 m al sur. Los valores registrados fluctúan entre 42 y 71 mseg.

Por el método de resistividad aparente, la respuesta obtenida es vaga, quedando además desplazada hacia el SE. Las curvas de anomalías en los niveles N=1 y N=2 quedan abiertas hacia el SE, mientras que para el nivel N=3 la anomalía se integra con la presente en la Zona II quedando también abierta hacia el oriente.

Para los niveles 1 y 3 se observan valores anómalos (162 y 82 ohm-m) sobre la línea 3.5 a 50 m al sur y a 50 m al norte respectivamente.

De la observación de las secciones A-A', B-B' y C-C' (Anexos Nos.8, 9 y 10) se deduce que la anomalía de la Zona IV, puede ser producto de mineralización probablemente diseminada en skarn, asociada al dique Tecolote y encajonada en caliza estratificada y probablemente masiva de los horizontes Nos. 1 y 2. La zona, geológicamente, reúne características que alientan tal afirmación, ya que se tiene la presencia de los diques Tecolote y 1414, que se presentan asociados a mineralización en las obras de las minas El Monte

y Dolores, y la presencia de los horizontes de caliza masiva, que constituyen una roca favorable para contener mineralización, debido a su porosidad y permeabilidad y que por ello ha sido reemplazada por sulfuros masivos en algunas partes dentro del área (por ejemplo las chimeneas de la zona Dolores). Por otro lado, es posible, que por efecto del plegamiento, se tenga un fracturamiento en las rocas que forman el sinclinal Tecolote, que produzca permeabilidad secundaria en éstas y que las haga favorables para contener mineralización.

Debido a la presencia de una respuesta geofísica anómala y de los factores geológicos favorables mencionados, se propone investigar la anomalía de la Zona IV con barrenación de diamante, por medio de los barrenos anotados en la siguiente tabla:

No.	B.D.D.	RBO.	INCL.	LONG.	SECCION
6		N 47° E	-57°	280 m	A-A'
7		N 47° E	-55°	260 m	C-C'

La ubicación en planta de dichos barrenos se puede observar en el plano del Anexo No. 7.

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La mineralización presente en el área El Monte está asociada al emplazamiento de intrusivos en forma de diques de composición monzonítica y latítica y es producto de la circulación de fluidos hidrotermales mineralizantes a través de las rocas ígneas y calizas encajonantes.

Los sulfuros fueron depositados como relleno de fracturas y diseminados en los diques, masivos y diseminados en el skarn asociado y como masas de reemplazamiento en las calizas.

El área de estudio presenta características geológicas favorables para el emplazamiento de cuerpos mineralizados, como son: plegamiento de las rocas, fracturamiento, presencia de horizontes de caliza masiva, cruce de diques con horizontes favorables y vetas mineralizadas. Además presenta evidencias de mineralización como son: presencia de oxidación en diques y en los contactos de estos con calizas, vetas de óxidos y galena diseminada en vetillas de calcita.

El estudio geofísico de polarización inducida y resistividad aparente realizado, resultó positivo ya que se obtuvo respuesta bien definida en las zonas donde se conoce mineralización.

La selección de anomalías se llevó a cabo en base a la correlación de datos de polarización inducida y resistividad aparente. Se obtuvieron cuatro zonas anómalas Zona I, II, III y IV.

La Zona I es la más importante, localizándose en la parte SE del área, y muestra valores altos de polarización inducida y bajos de resistividad. Esta anomalía puede estar relacionada a sulfuros asociados a diques de composición monzonítica, encajonados en calizas estratificadas o masivas.

La Zona anómala II, ubicada al NE del área, es la de más pobre respuesta. Se cree es provocada por mineralización presente en la mina El Monte, constituida por sulfuros diseminados en skarn, en una estructura conocida como Manto Esperanza.

La Zona III, está representada por una anomalía bien definida, que representa la respuesta de la mineralización existente en la zona Tecomates-La Escondida.

La zona IV es la segunda en importancia de las anomalías detectadas en el estudio; presenta respuesta tanto de polarización inducida como de resistividad aparente. Esta anomalía puede ser producto de mineralización asociada al dique Tecolote encajonada en calizas estratificadas y masivas.

Se recomienda explorar las anomalías de las zonas I y IV por medio de barrenación de diamante sobre tres secciones transversales a las anomalías y a las estructuras presentes en el área. Los barrenos propuestos se enlistan en seguida:

No. B.D.D.	RBO.	INCL.	LONG.	ANOMALIA
1	N 47° E	-64°	330 m	I
2	N 47° E	-61°	350 m	I
3	N 47° E	-60°	300 m	I
4	N 47° E	-54°	320 m	I
5	N 47° E	-60°	250 m	I
6	N 47° E	-57°	250 m	IV
7	N 47° E	-55°	260 m	IV

B I B L I O G R A F I A

1) Aguilar García, M., 1972. Prospección Geológica Minera de la Región de Maconi- Zimapán. Pachuca. I.P.N. E.S.I.A.. Tesis Profesional (Inédita) pp. 80

2) Carrasco, V., B., 1970. La Formación El Abra (Formación El Doctor) en la Plataforma de Valles- San Luis Potosí. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, Vol. II. pp. 97-99.

3) Carrillo, B. J., 1971. La Plataforma de Valles San Luis Potosí. Boletín de la Asoc. Mex. de Geol. Petroleros. Vol. XXIII. Nos. 1-6. pp. 102.

4) Carrillo M., M. y Sutter, M., 1982. Tectónica de los alrededores de Zimapán. Hidalgo y Querétaro. Libro Guía de la Excursión a Zimapán y áreas circundantes, estados de Hgo. y Gro. Soc. Geológica Mexicana. VI Convención Nacional. pp. 1-20

5) Dahlgren, Ch., 1883. Minas históricas en la República Mexicana. Nueva York. pp. 218.

6) Einaudi, M. T., Meinert, C.D. and Newberry, R. A., 1981. Skarn Deposits. Economic Geology. 75th Anniversary. Volume. pp. 317- 391.

7) Falletite, E., 1868. Informe Privado.

8) García Sánchez, G., 1982. Génesis del Cuerpo Mineral "Concordia NW" y evaluación del bloque (N)- 229 a (N)- 333. Zimapán. Hgo. Tesis Profesional. U.N.A.M. (Inédita) pp. 60.

9) Gaytán R., J.E., 1975. Exploration y Development at the Negra Mine. Maconi. Queretaro. Mexico. University of Arizona. Thesis. (unpublished).

10) Gemmell, B., 1983. Ore Microscopy Study of the Concordia NW block. El Monte Mine. Zimapán District. Mexico.

Department of Earth Sciences Dartmouth College Hanover, New Hampshire, U.S.A. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito) pp. 27.

11) González C. E., Jaimes M., L. M., Nieto O., J., Casar, I., Morales, P., Cortéz, A., Ramos, S. y Delgado A., L. A., 1985. Modelo Metalotectónico del skarn de Zimapán en base a datos isotópicos de Rb/Sr y C-O. Boletín Geos. "a. Epoca, No. 3, p-14 (Resumen). Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana (1985), Oaxaca, Oax.

12) González C., E. y Jaimes M., L.M., 1986. Modelo Metalotectónico de la Mineralización de Tungsteno del Skarn de Plomo-Zinc de Zimapán. Hgo., en base a Datos Isotópicos de Rb/Sr, C y O. Tesis Profesional. U.N.A.M. (Inédita) pp. 82.

13) González, F., Grothe, A., Salazar L., 1911. The Mining Industry of Mexico. State of Hidalgo. Secretaria de Fomento.

14) Humboldt, a., 1808. Essai politique sur le royaume de la Nouvelle Espagne. livre IV: Paris, pp. 45

15) Kiyokawa et. al., 1981. Report on Geological Survey of the Pachuca Area Central Mexico. Phase I and II. J.I.C.A. and M.M.A.J. (Japan International Cooperation Agency and Metal Mining Agency of Japan). Consejo de Recursos Minerales, México. (Archivo Técnico).

16) Lara S., F.J., Zapata G., R., 1989. Estudio Geofísico de Polarización Inducida y Resistividad en el Área El Monte. Mpio. de Zimapán. Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito)

17) Meritano A., J., 1976. Estudio Fotogeológico-Estructural del Distrito Minero de Zimapán. Hgo. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito). pp. 18.

18) Navarro B., R., 1982. Operación Minera del Cuerpo Concordia Nw. Mina El Monte. Distrito de Zimapán. Estado de Hidalgo. Libro Guía de la Excursión a Zimapán y áreas circundantes, estados de Hgo. y Gro.. Sociedad Geológica Mexicana. VI Convención Nacional. pp. 28- 32.

19) Pescador R., R., 1985. Exploración y Evaluación del Área Santa Gorgonia del Distrito Minero de Zimapán. Hgo. Tesis Profesional. U.N.A.M. (Inédita) pp. 65.

20) Raisz, E., 1964. Landforms of Mexico. Cambridge Massachussetts. Geographic Branch of Office of Naval Research. Second Edition.

21) Segerstrom, K., 1962. Geología del Sureste del Estado de Hidalgo y Norte del Estado de México. Boletín de la Asoc. Mex. de Geol. Petroleros. Vol. XIII. Nos. 3- 4. pp. 147- 168.

22) Simons, F.S. y Mapes, V.E., 1957. Geología y Yacimientos Minerales del Distrito Minero de Zimapán. Hgo. Inst. Nal de Inv. de Recursos Minerales. Boletín No. 40. pp. 284.

23) Tello A., M.A., 1984. Primera Etapa de Exploración del Área Santa Gorgonia. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito).

24) Trejo de la C., M., García S., G., 1987. Informe Preliminar de Evaluación de Reservas y Potencial Minero de la Mina Balcones. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito).

25) Trejo de la C., M., García S., G., 1987. Evaluación de Reservas y Potencial Minero de las Minas Concordia y Dolores. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito)

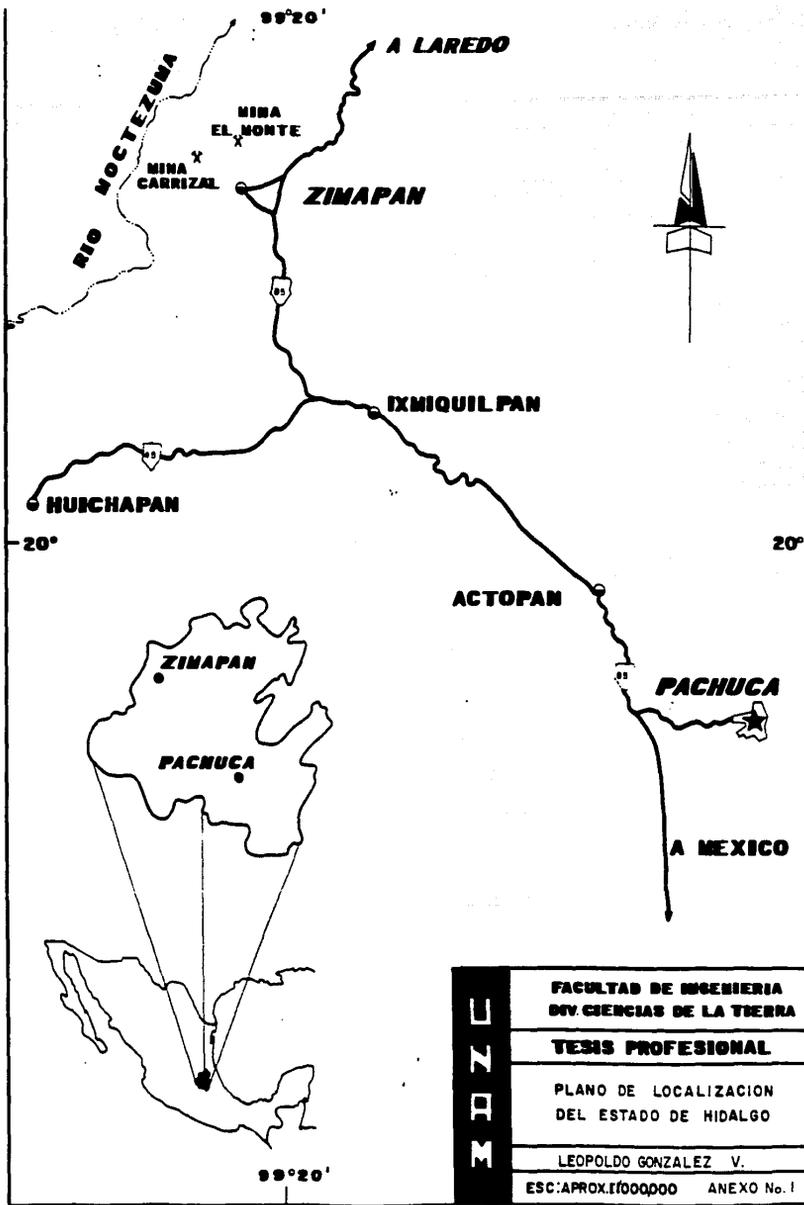
26) Trejo de la C., M., Morin M., J., 1986. Informe Preliminar de Evaluación del Potencial Minero de la Mina Lomo de Toro. Compañía Fresnillo, S.A. de C.V. (Inédito).

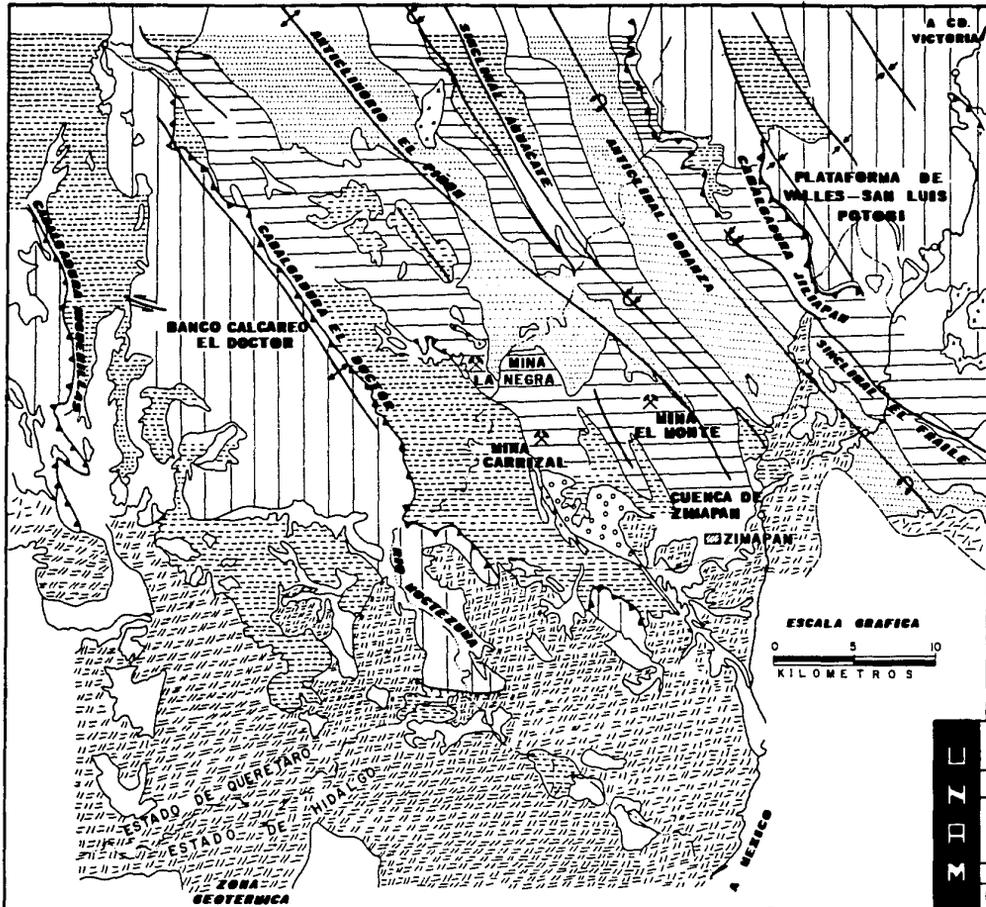
27) Villaseñor C., M. G., Gómez C., J.A., Medina de la P., J.L., Condliffe, E. y Lozano S. C., R., 1987. Boulangerita de la chimenea Las Animas. Zimapán. Estado de Hidalgo. Mineralogía y Metalogenia. Boletín de Mineralogía. Soc. Mineralógica Mexicana, A.C.. Vol 3, Núm. 1. pp. 1- 30.

28) Ward, H. G., 1828. México en 1827 (Selección). Lecturas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica.

29) White, D.E., 1948. Diagenetic origin of chert lenses in limestone at Sovatal, State of Querétaro, México. Am. Jour. Sci., vol. 254, pp.49-55.

30) Zepeda H., C., 1988. Curso Corte de Geofísica Minera. Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V. (Inédito).





A CD.
VICTORIA



EXPLICACION

-  DEPOSITOS CONTINENTALES
-  ROCAS IGNEAS INTRUSIVA ACIDAS INTERMEDIAS
-  ROCAS VOLCANICAS NO DIFERENCIADAS
-  FORMACION EL MORRO
-  FORMACION SOYATAL
-  FORMACION EL DOCTOR, EL ABRA Y TAMAULIPAS
-  FORMACION LAS TRANCAS
-  CONTACTO GEOLOGICO
-  ANTICLINAL
-  SINCLINAL
-  FALLA DE CORRIENTO LATERAL
-  ANTICLINAL RECOSTADO
-  SINCLINAL RECOSTADO

ESCALA GRAFICA
0 5 10
KILOMETROS

NOTA:
Tomado de Corriño y Sutter, 1982

FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. CIENCIAS DE LA TIERRA

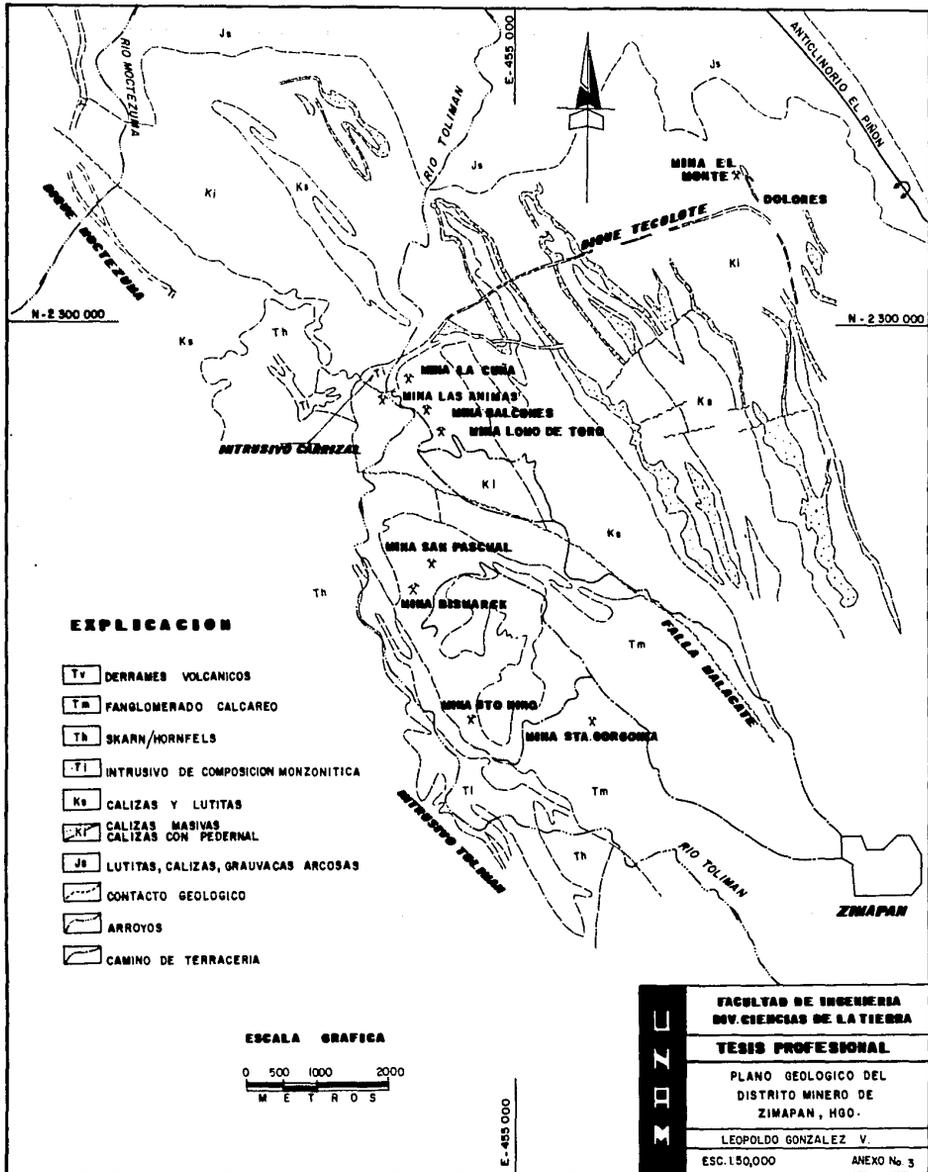
TESIS PROFESIONAL

GEOLOGIA REGIONAL
ALREDEDOR DE
ZIMAPAN, HGO.

LEOPOLDO GONZALEZ V.

ESC. APROX. 1200Q00

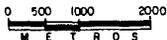
ANEXO No. 2



EXPLICACION

- Tv DERRAMES VOLCANICOS
- Tm FANGLOMERADO CALCAREO
- Th SKARN/HORNFELS
- Ti INTRUSIVO DE COMPOSICION MONZONITICA
- Ks CALIZAS Y LUTITAS
- Kp CALIZAS MASIVAS
CALIZAS CON PEDERNAL
- Js LUTITAS, CALIZAS, GRAUVACAS ARCOSAS
- CONTACTO GEOLOGICO
- ARROYOS
- CAMINO DE TERRACERIA

ESCALA GRAFICA



FACULTAD DE INGENIERIA
INV. CIENCIAS DE LA TIERRA

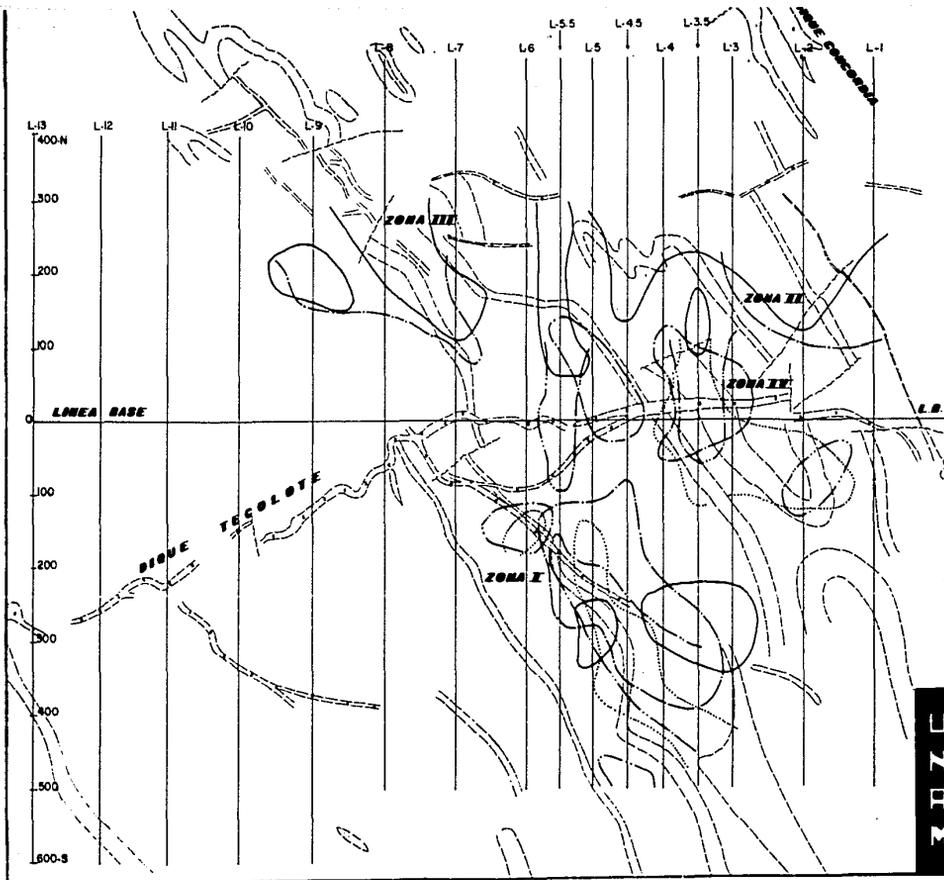
TESIS PROFESIONAL

PLANO GEOLOGICO DEL
DISTRITO MINERO DE
ZIMAPAN, HGO.

LEOPOLDO GONZALEZ V.

ESC. 1:50,000

ANEXO No 3



EXPLICACION

-  LINEA DE GEOPISICA
-  L-2 NUMERO DE LINEA

CURVAS DE ISOVADORES DE BACKGROUND 36 MSEC.

-  N = 1
-  N = 2
-  N = 3
-  N = 4

NOTA:

- Las curvas representan el límite inferior de las anomalías
- Para simbología geológica ver plano anexo No.

ESCALA GRAFICA



IZI

**FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. CIENCIAS DE LA TIERRA**

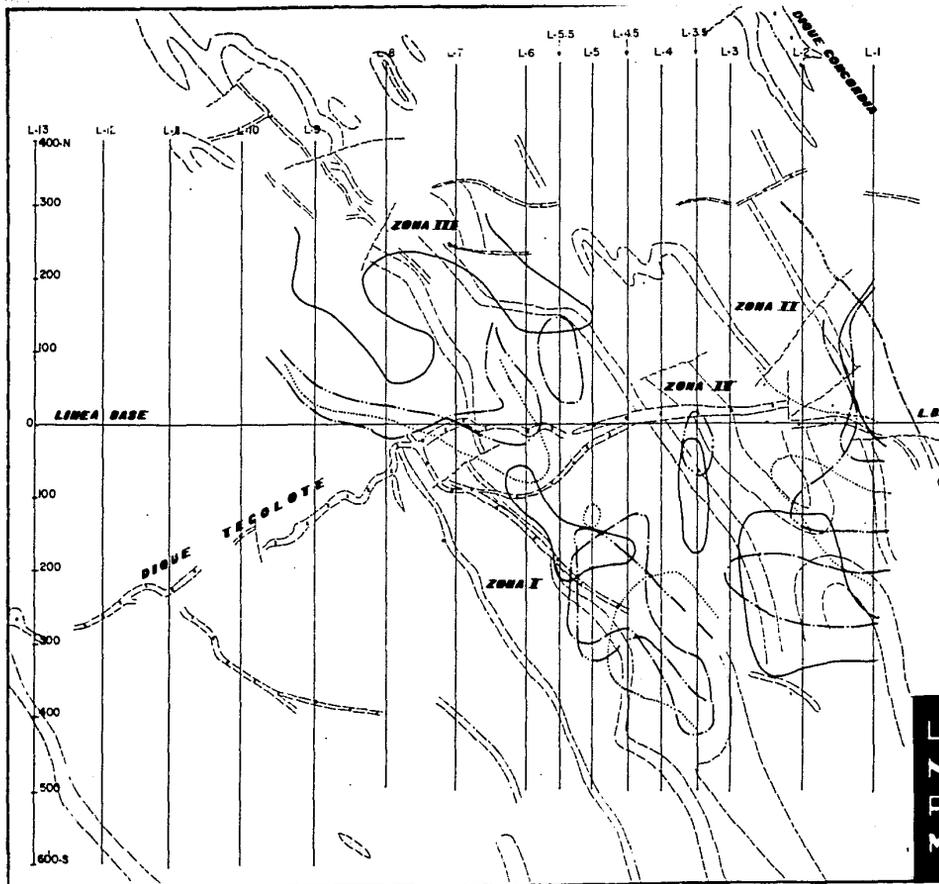
TESIS PROFESIONAL

**PLANO GEOLOGICO
MOSTRANDO ANOMALIAS DE
POLARIZACION INDUCIDA**

LEOPOLDO GONZALEZ V.

ESC. 1 5,000

ANEXO No 5



EXPLICACION

— LINEA DE GEOFISICA

L-2 NUMERO DE LINEA

CURVAS DE ISOVALORES DE BACKGROUND 200 OHM-M

○ N = 1

○ N = 2

○ N = 3

○ N = 4

NOTA:

— Las curvas representan el límite inferior de las anomalías

— Para simbología geológica ver plano anexo No.

ESCALA GRAFICA



FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. CIENCIAS DE LA TIERRA

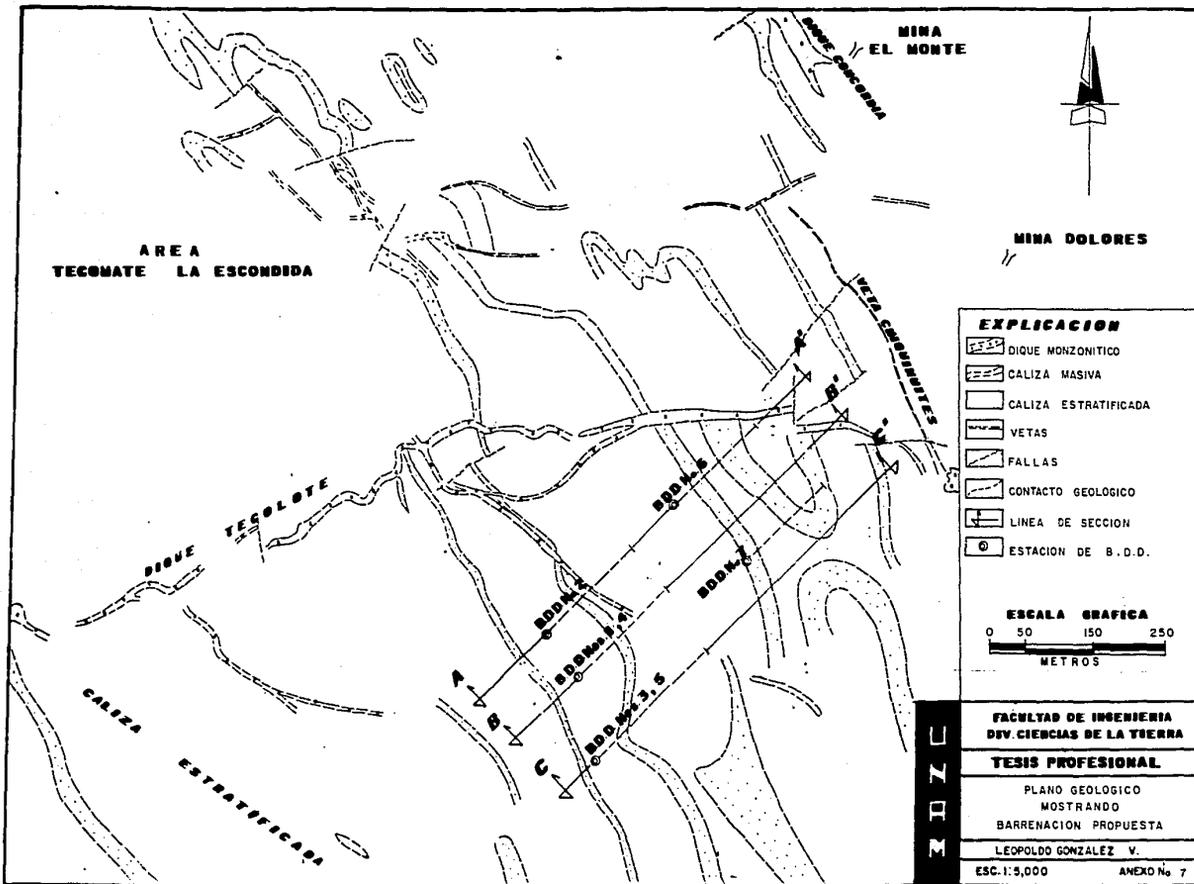
TESIS PROFESIONAL

PLANO GEOLOGICO
MOSTRANDO ANOMALIAS DE
RESISTIVIDAD APARENTE

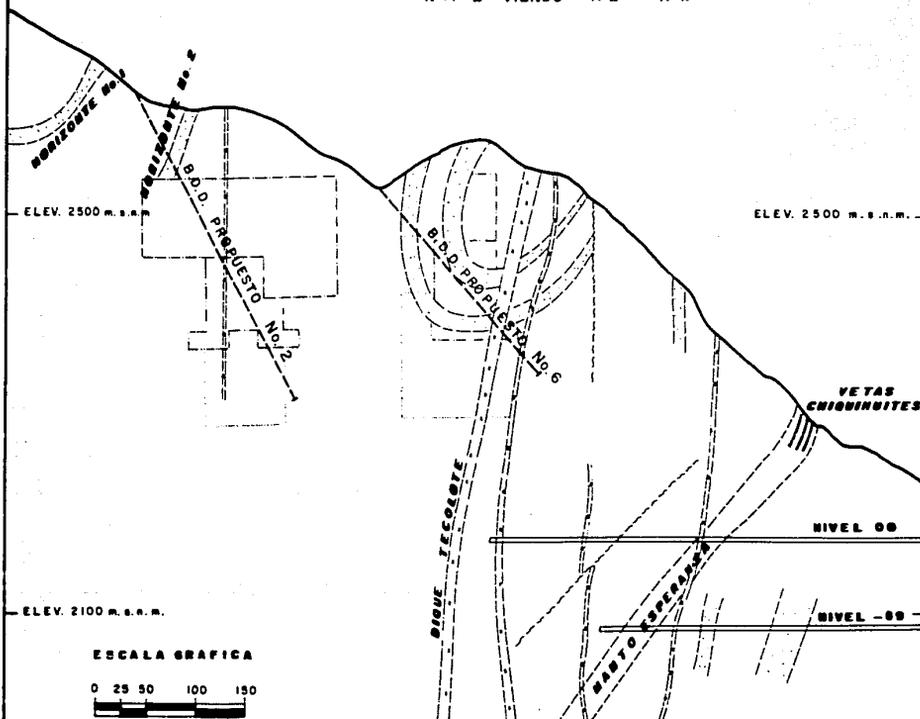
LEOPOLDO GONZALEZ V.

ESC. 1:5,000

ANEXO No. 6



SECCION GEOLOGICA — GEOFISICA
N47°E VIENDO AL NW



ESCALA GRAFICA



EXPLICACION

- SKARN
- DIQUE MONZONITICO
- CALIZA MASIVA
- CALIZA ESTRATIFICADA
- FALLA
- CONTACTO GEOLOGICO
- OBRA MINERA
- N = 1
- N = 2
- N = 3
- N = 4

FACULTAD DE INGENIERIA
INV. CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS PROFESIONAL

SECCION A - A'

MOSTRANDO

BARRENOS PROPUESTOS

LEOPOLDO GONZALEZ V.

ESC. APROX. 1:3,500

ANEXO No. 8

307C

SECCION GEOLOGICA — GEOFISICA

N 47° E VIENDO A L N W

ELEV 2600 m s.n.m.

HORIZONTE No. 1

B.D.D. PROPUUESTO No. 4
B.D.D. PROPUUESTO No. 1

HORIZONTE No. 2

B.D.D. PROPUUESTO No. 7

VETAS
CRIONIQUITES

ELEV 2200 m s.n.m.

NIVEL + 55

ELEV 2600 m s.n.m.

NIVEL 00

NIVEL - 89

NIVEL - 229

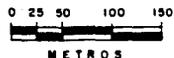
DIGUE TEGOLITE

MAYO ESCALITA

EXPLICACION

-  SKARN
-  DIGUE MONZONITICO
-  CALIZA MASIVA
-  CALIZA ESTRATIFICADA
-  FALLA
-  CONTACTO GEOLOGICO
-  OBRA MINERA
-  N = 1
-  N = 2
-  N = 3
-  N = 4

ESCALA GRAFICA



FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. CIENCIAS DE LA TIERRA

TESSS PROFESIONAL

SECCION B-B'

MOSTRANDO

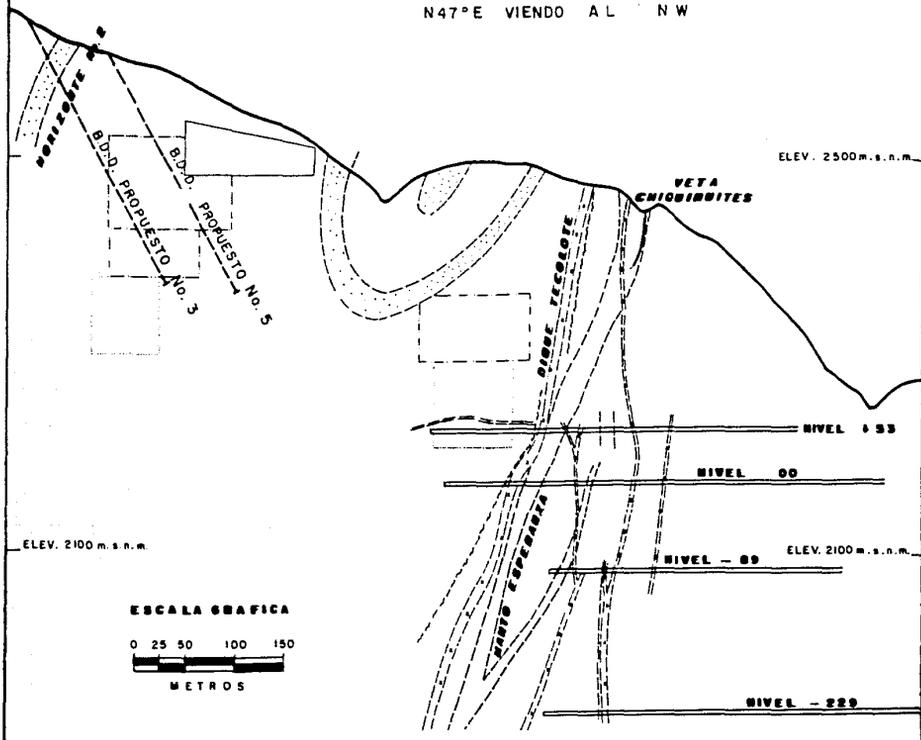
BARRENOS PROPUESTOS

LEOPOLDO GONZALEZ V

ESC. APROX. 1:3,500

ANEXO No. 9

SECCION GEOLOGICA — GEOFISICA
 N47°E VIENDO AL NW



EXPLICACION

- SKARN
- DIQUE MONZONITICO
- CALIZA MASIVA
- CALIZA ESTRATIFICADA
- FALLA
- CONTACTO GEOLOGICO
- OBRA MINERA
- N = 1
- N = 2
- N = 3
- N = 4

ISIZC

FACULTAD DE INGENIERIA
DIV. CIENCIAS DE LA TIERRA
TESIS PROFESIONAL

SECCION C-C'
 MOSTRANDO
 BARRENOS PROPUESTOS

LEOPOLDO GONZALEZ V.
 ANEXO No.10

ESC. APROX. 1:3,500