

V.- YACIMIENTOS MINERALES.

1) Introducción.

Las manifestaciones de tungsteno en el Estado de Sonora son abundantes, en los mapas de provincias metalogenéticas realizados en México, la que corresponde al tungsteno se sitúa principalmente como una franja que se extiende N-S atravesando Sonora y parte de Sinaloa.

Estos indicios pertenecen a diferentes tipos de yacimientos, los cuales se clasifican y definen en forma general dentro de este capítulo.

Con respecto a los yacimientos minerales en el área de estudio, se hicieron reconocimientos en las labores mineras, actualmente abandonadas o en receso de explotación, con el fin de establecer el patrón metalogenético de éstos. Se hará énfasis en la mina La Norteña por presentar condiciones geológicas y económicas de interés.

2) El Tungsteno en Sonora.

Sonora ha aportado aproximadamente el 85 % de tungsteno a nivel nacional, le siguen en importancia los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa y Guerrero.

En el estado de Sonora fué encontrado y explotado poco antes de la Primera Guerra Mundial, en la región de San Nicolás y Santa Ana Mpio. de Yécora, como diques de pegmatitas y en El Trueno, Mpio. de Obregón, en yacimientos de placer.

Un nuevo auge se produce al iniciarse la Segunda Guerra Mundial. Se descubren yacimientos de tungsteno en skarns en regiones cercanas a Hermosillo; desde esas fechas se han realizado estudios sobre diferentes depósitos de este mineral.

Anteriormente, la industrialización del tungsteno en México fué muy limitada, por lo que la producción se ha destinado a la exportación en forma de concentrados con 40-70 % de WO_3 y como mineral con 31 - 55 % de WO_3 .

Las exportaciones en 1980 fueron principalmente a los Estados Unidos, Japón y Venezuela (C.R.M. 1980).

El tungsteno se utiliza principalmente en la formación de aleaciones para la industria, sobre todo en la industria del armamento por lo que es considerado un metal estratégico.

Lamentablemente, este mineral se ve afectado por las bruscas variaciones del mercado las cuales en nuestro carácter de productores de materias primas no podemos mitigar. Así, la minería de tungsteno en Sonora se caracteriza por épo

cas alternantes de depresión y de bonanza, que coinciden con las principales épocas de conflictos mundiales, como la Segunda Guerra Mundial, las guerras de Corea y Vietnam, antes de la integración de China al mercado mundial ya que este país es el exportador más importante y el que posee las reservas mayores de tungsteno.

A esta fluctuación de los precios se debe la irregular explotación de los yacimientos.

Sin embargo la creciente industrialización del país, con un volumen de tungsteno de 132 ton. al año no satisfecho y las estimaciones del incremento de la demanda (80 % anual) permite suponer una mejor etapa para la explotación de estos yacimientos.

3) Tipos de Yacimientos de Tungsteno en Sonora.

La característica esencial de los yacimientos de tungsteno es su relación casi constante con rocas ígneas más o menos ácidas, principalmente plutónicas (granitos en su sentido amplio) y menos frecuentemente con rocas volcánicas (riolitas, etc.).

En el caso de plutones ácidos, el tipo de yacimiento depende principalmente de la naturaleza de la roca encajonante, formándose filones de wolframita y a veces scheelita, en roca no calcáreas y skarns casi exclusivamente con scheelita en roca calcáreas.

Han sido realizadas varias clasificaciones de los yacimientos de tungsteno desde principios del siglo, sin embargo, la más actualizada y exhaustiva es la efectuada por Burnol, Geffroy y Soler (1978) basados en una agrupación anterior hecha por Denisenko (1975). Esta clasificación se basa principalmente en la morfología del depósito (relación espacial entre las diferentes unidades que lo conforman) y la paragénesis (Apéndice B, inciso 2 b). Es en base a esta clasificación que se describen los yacimientos en Sonora.

Una compilación de los principales depósitos explotados o en explotación en el estado de Sonora, fué hecha por uno de los autores de este trabajo (Araux 1982) quién los clasifica en base a su morfología en skarns, brechas de colapso asociados a pórfidos, pegmatitas y cuerpos filonianos asociados a cúpulas graníticas y depósitos de placer, los cuatro primeros tipos están obviamente vinculados con las rocas plutónicas, por lo cual quedan incluidos en el Grupo A) de la clasificación de Burnol et al (1978).

a) Skarns.

Definición. Estos yacimientos se reconocen básicamente por la naturaleza de su ganga que consiste de una mezcla de silicatos anhidros e hidratados de los elementos Ca, Mg, Fe, Mn y son de grano relativamente grueso.

Se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio sonorense y actualmente contienen las principales reservas de este mineral.

Morfología y Estructura. Se sitúan generalmente en el contacto de una roca plutónica granítica (monzonita cuarzosa, granodiorita, granito) y una roca encajonante calcárea y/o dolomítica, aunque ambas condiciones no son siempre indispensables. Su desarrollo en los contactos es independiente de la estratificación.

Estructuralmente Burt y Petersen (1974) diferencian tres tipos: skarns alrededor de la intrusión, intrusión alrededor de skarn (colgantes o remanentes del techo "roof pendants") y skarn sin intrusión aparente. En Sonora se han estudiado skarns del primero y segundo tipo.

Génesis. Se reconocen varios estadios en la formación de los skarn, comenzando por una intrusión granítica la que produce un metamorfismo (de contacto o regional), que da lugar a condiciones físicas de porosidad en la roca encajonante, lo cual permite el paso de los fluidos metasomáticos, que circulan principalmente a lo largo de los despegamientos en los contactos, por fracturas, juntas de estratificación, etc.

Algunos autores distinguen los skarn de los skarnoides en base a que los fluidos en estos últimos se propagan a lo largo de las fracturas o juntas, produciendo un aspecto pseudo-estratiforme o bandeado.

Se establece entonces que los fluidos han circulado a lo largo del contacto granito-roca encajonante. Se tiende a pensar en un origen mixto: magmático y meteórico para dichos fluidos (Burt, 1975; Burnol et al 1978).

Se consideran temperaturas para la formación de los skarns de 400 a 700 °C con una fase hidrotermal tardía de 200 a 500 °C (Shimazaki, 1980).

La presión es baja de 1 a 2 kb según Burnol (1978) para el yacimiento de Salau en Francia, pero Einaudi y Newberry (1981) consideran que condiciones de alta temperatura y sobretodo una presión moderada (hasta 3.5 kb), son necesarias para la depositación del tungsteno en los skarns.

Las condiciones para la génesis de los skarns portadores de tungsteno están presentes en el NW de México: potentes secuencias carbonatadas o calcáreas arcillosas del Paleozoico y Cretácico inferior, son intrusionadas por grandes

cuerpos graníticos del Cretácico superior-Terciario, produciendo una amplia zona favorable a su formación.

Paragénesis. Los minerales son principalmente granates (anhidros), piroxenos (diópsida - hedenbergita), epidota, idocrasa, wollastonita. Cuando la roca encajonante tiene magnesio (dolomías o calizas arcillosas) pueden formarse: magnesita, forsterita, talco, tremolita, diópsida y serpentina. La abundancia de Fe y Mn produce minerales más oscuros lo cual distingue a los skarns de las corneanas calcosilicatadas. La mineralización es casi exclusivamente de scheelita puesto que las condiciones químicas -abundancia de calcio- así lo restringen, - se asocia generalmente con molibdenita.

Posteriormente se depositan sulfuros como pirita, calcopirita, pirrotita y esfalerita reemplazando minerales del skarn.

Un estadio hidrotermal tardío suele afectar a los minerales del skarn hidratándolos produciendo: ilvaíta, actinolita, cummingtonita, clorita, serpentina y zeolitas, a veces halógenos y boratos como fluorita, escapolita, datolita y abundante cuarzo y calcita.

Ejemplo en Sonora. El Jaralito Baviácora.

La región de Baviácora ha sido una de las mayores productoras de W_3 en el Estado. Actualmente está en receso de explotación. El área de El Jaralito se localiza en la parte central norte de Sonora, entre las coordenadas $29^{\circ} 40'$ - $29^{\circ} 46'$ de latitud N y $110^{\circ} 12'$ - $110^{\circ} 15'$ de longitud W. El acceso lo constituye la carretera Hermosillo - Baviácora y un camino de terracería hacia el oeste a 19 km. de dicho poblado, además cuenta con una pista aérea en El Jaralito.

Consiste de una serie de techos colgantes estrechamente espaciados de rocas metasedimentarias fuertemente intrusionadas por rocas del Terciario temprano correspondientes al batolito de Aconchi (Peabody, 1979).

Las rocas metasedimentarias son las más antiguas expuestas en esta región, asignadas al Paleozoico medio y superior, están formadas por corneanas pelíti--cas y calcosilicatadas, esquistos pelíticos, cuarcitas, conglomerados predomi--nando los estratos de mármoles donde las rocas anteriores se encuentran interca--ladas.

Existe una gran variación composicional en las rocas intrusivas como grani--to, granodioritas y dioritas. También una microdiorita oscura que intrusiona - las rocas metasedimentarias y cuya relación con las rocas graníticas es ambigua, según Chávez (1976) es posterior a las rocas del Batolito. Diques de aplita y pegmatitas asociados con el batolito son ubicuos e intrusionan claramente todas

las rocas mencionadas. Estos diques a su vez son cortados por otro sistema de diques andesíticos y lamprofídicos.

Estructuralmente se definen dos tipos de pliegues uno con rumbo E-NE y replegados con ejes N-S. Los metasedimentos plegados isoclinalmente y la microdiorita se encuentran fuertemente foliados. Supone Peabody (1979) que la edad de este plegamiento es posterior a las rocas graníticas, ya que parece afectarlas. Menciona también cuatro episodios de fallamiento.

Las rocas encajonantes son principalmente mármoles con diópsida y flogopita y mármoles con bandas calcosilicatadas con grosularita + wollastonita. Los fluidos metasomáticos dan lugar a bandas de piroxeno rodeadas por idocrasa + wollastonita + mármol, con cantidades pequeñas de scheelita.

La scheelita se asocia con tres minerales: primero con idocrasa (no económico), con granate rojo y diópsida (importante económicamente).

Morfológicamente el skarn ocurre de tres maneras:

- contacto simple entre rocas graníticas y mármol.
- a lo largo de juntas de estratificación.
- a lo largo de los contactos entre la microdiorita y el mármol.

En un estadio hidrotermal tardío no bien desarrollado se tiene:

- Vetillas de alteración con anfíbol + clorita + epidota y centros de scheelita + sulfuros + cuarzo + calcita removilizada.
- Venas de epidota, también como alteración del granate.
- calcita en vetillas.
- piroxeno reemplazado por actinolita.

Los fluidos portadores de tungsteno penetran a lo largo de la interfase mármol-calcosilicato para formar el skarn, así que la abundancia de éstas, incrementan la efectividad de la roca metasedimentaria para contener tungsteno, según Peabody (1979).

b) Pegmatitas.

Definición. Roca ígnea de grano grueso (mayor de 3 cm.), generalmente son de composición granítica.

Se han explotado pegmatitas con scheelita y wolframita pero no corresponden más que a tonelajes mínimos de tungsteno. En muchas pegmatitas graníticas potásicas, sódicas y con tierras raras, la wolframita, a veces la scheelita existen pero no intervienen más que como elementos asociados, no obstante se han recuperado.

El interés teórico de las pegmatitas es por su composición (presencia nota

ble de topacio, turmalina, berilo, apatito, minerales líticos) ellas recalcan - la transición entre los granitoides y los yacimientos hidrotermales. Parece -- que frecuentemente el estadio pegmatítico no es más que la primera etapa de una asociación de yacimientos hidrotermales con cuarzo wolframita (Burnol et al , - 1978).

En el sur de Sonora, las pegmatitas han producido la mayor parte de WO_3 , - sin embargo en la actualidad los yacimientos conocidos están casi agotados además de presentar leyes muy bajas sus reservas (Wiese, Cárdenas, 1946).

Los principales yacimientos se encuentran hacia el E del río Yaqui en las regiones de San Nicolás, Santa Ana y Santa Rosa en el Mpio. de Yécora.

Morfología y Estructura. Las pegmatitas, según definiciones generales, se emplazan en forma de diques, grietas de ruptura y en fisuras de separación con pendiente fuerte; en depósitos estratiformes y lenticulares cuando la estratificación tiene buzamiento abrupto y en forma de stocks y cuerpos tubulares en la roca encajonante (Whitten et al, 1980).

Se ha notado que los diques pegmatíticos principales se emplazan en sentido perpendicular al rumbo de la compresión. En el caso de Sonora, la mayoría - de los diques se emplazan en cuarcitas, rocas volcánicas y en el mismo granito, y no penetran mucho en la roca encajonante. Generalmente las pegmatitas son -- más resistentes que las rocas que las rodean (granito) y se destacan sobre la superficie del terreno en forma de lomas de poca elevación.

Génesis. Se sugiere que estos yacimientos se forman a partir de fluidos - hidrotermales residuales, enriquecidos en volátiles y recristalizados al inyectarse o emplazarse en grietas a gran profundidad de la superficie. Se relacionan genéticamente con granitoides y yacen en diversos tipos de rocas, incluso - en las mismas rocas graníticas. Se engendran según Volfson (1982) a profundidades medias entre 4 y 6 km. por lo que la erosión es un factor importante en la localización de este tipo de yacimientos.

Paragénesis. La mineralogía principalmente es de cuarzo y ortoclasa, pudiendo incluir muscovita, fluorita, hornblenda, epidota, pirita , topacio, magnetita, esfena, turmalina, berilo, apatito, minerales líticos, etc. La mineralización puede ser wolframita o scheelita, la cual se presenta en cristales anhedrales regulares, excepto en pequeñas cavidades donde adquiere la forma típica piramidal. A veces el calcio de la scheelita es reemplazado por cobre dando lugar a cuprotungstita.

Ejemplo en Sonora. Minas La Cruz y San Julián, Mpio. de Yécora.

La mina la Cruz fué explotada desde antes de 1910 por cobre y posteriormente por tungsteno.

Se encuentra localizada al SE del pueblo de San Nicolás, muy cerca del camino a Yécora.

Se trata de un dique de pegmatita que sobresale topográficamente del granito, el cual tiene una composición monzonítica y cuya edad probable es Cretácico superior. Mineralógicamente está constituido por cuarzo, biotita, flogopita, -- turmalina, feldespato, pirita, calcopirita, bornita, molibdenita y scheelita.

La scheelita se ha encontrado en grandes bolsas asociada a cantidades mínimas de molibdenita, el cual no ha sido económicamente explotable. La explotación se llevó a cabo superficialmente y por socavones, al parecer sus reservas se encuentran agotadas.

La mina San Julián es parte del conjunto mineralizado de Los Verdes, el cual se describe posteriormente en lo referente a conjuntos filonianos.

Esta mina fué explotada alrededor de 1943 por medio de pequeños tajos abiertos y concentraciones con polveadoras del material del terrero y pequeños placeres en el arroyo. Está constituida por hilos y venas pegmatíticas entrecruzadas en una granodiorita con facies monzo y cuarzomonzoníticas. La mineralogía es de cuarzo, ortoclasa, biotita, sericita, molibdenita, pirita, calcopirita y el portador exclusivo de W es la scheelita.

c) Yacimientos Filonianos.

Son yacimientos de alta temperatura cuya génesis está relacionada comúnmente a roca graníticas. Dentro de la clasificación de Burnol, se conocen tres tipos principales que se diferencian básicamente por su morfología, no así por su paragénesis. Son los stockworks, los conjuntos filonianos y los pipes. Los yacimientos filonianos de cuarzo con tungsteno son muy distribuidos, constituyen las tres cuartas partes de las reservas mundiales (China principalmente).

Definición. Filón es un término básicamente morfológico, se trata de cuerpos tabulares o en forma de lámina, con minerales que han sido introducidos en la roca por una diaclasa o fisura o por un sistema de diaclasas y fisuras.

Stockworks es un conjunto de fisuras ramificadas, debidas a una fracturación muy fina, rellenas de múltiples filones delgados, mineralizados y discontinuos. La roca encajonante es en general poco transformada. El término no se aplica a sistemas de pequeña escala como los que pueden producirse en zonas bre-

chificadas. Por sus características de baja ley y gran volumen, se explotan masivamente.

"Brechas pipes" son cuerpos vagamente cilíndricos con un diámetro de .60 a 20 m. o más, que pueden alcanzar longitudes de 200 hasta más de 500 m. (Pilares de Nacozari, Son.). Son producidos al parecer, por hundimientos en una cámara magmática, lo cual produce brechamiento en la roca encajonante.

Contrariamente a los skarns que se desarrollan en un medio carbonatado, estos filones cortan generalmente los sedimentos esquistosos o arenosos o sus equivalentes más o menos metamorfizados, así como a las rocas intrusivas o extrusivas más antiguas que aquéllas con las que están asociados; sin embargo, se conocen casos de filones cuarzosos con tungsteno que cortan a series carbonatadas en este tipo el mineral portador es la scheelita.

Por otra parte los filones de cuarzo con scheelita pueden estar encajona--dos en los granitos, como en el yacimiento de Barrueco Pardo en España (Burnol et al 1978).

Los stockworks se producen en las rocas encajonantes (micasquistos, se --cuencias volcánicas o vulcanosedimentarias). Pueden formarse muy cerca de los conjuntos graníticos a los cuales se asocian o no tener ninguna relación visi--ble con ellos.

Los "pipes" se asocian estrechamente a los macizos graníticos en su borde, localizándose tanto en el granito como en la roca encajonante. Aunque en oca--siones la roca intrusiva no se observa en el área del yacimiento, como en la --brecha Washington, Mpio de Huépac.

Génesis. La mayoría de los conjuntos filonianos de cuarzo con tungsteno, se asocian espacialmente y tal vez en su génesis, a rocas plutónicas de compo--sición granítica que se localizan cerca de sus contactos con la roca encajonan--te, en ocasiones en el endocontacto pero más frecuentemente en el exocontacto.

Paragénesis. Comprende principalmente cuarzo, al cual pueden asociarse --turmalina, topacio, muscovita, apatito, fluorita, raramente berilo, siderita, -dolomita y clorita. Como elementos calcófilos y siderófilos: casiterita, esta--nita, molibdenita, bismutinita, pirita, pirrotita, esfalerita, la arsenopirita es con frecuencia abundante. Los sulfuros argentíferos, galena y barita son ra--ros (Burnol et al 1978).

En los stockworks la paragénesis es menos variada limitándose en ocasiones a cuarzo y wolframita.

En general la wolframita es el portador dominante a la cual se asocia fre--

cuentemente la scheelita, en ocasiones este último puede ser el portador exclusivo de W.

Ejemplo en Sonora. Mina Los Verdes.

En este yacimiento coexisten varias presentaciones morfológicas como brechas "pipes", filones, pegmatitas y una pequeña zona de stockwork. Se pueden encontrar así, superpuestos varios tipos de mineralización correspondientes a cada uno de los estados sucesivos en el emplazamiento.

Se encuentra en el Distrito de Sta. Ana Mpio. de Yécora, la vía de acceso la constituye la carretera pavimentada Hermosillo-San Nicolás, de donde parte una desviación hacia Yécora y otra hacia Sta. Ana .

La principal característica geológica es la presencia de un intrusivo de dimensiones batolíticas el cual intrusióna rocas volcánicas cretácicas de composición andesíticas. La composición del batolito es granodiorítica con facies de monzonita y cuarzomonzonitas y se considera de edad laramídica. Las rocas volcánicas cretácicas se encuentran cubiertas en gran parte por rocas volcánicas ácidas del Terciario (Caliens, 1975).

Como estructuras más importantes sobresalen alrededor de 100 brechas hidrotermales descubiertas por la erosión, que formó una "ventana" en las rocas volcánicas. Estas brechas se encuentran en el contacto entre intrusivo y cobertura afectando a ambas rocas, aunque sin mezcla evidente entre ellas. Tienen forma de chimeneas ("pipes") casi verticales con áreas elípticas, con longitudes de hasta 800 m. y anchuras máximas de 150 m. Existen dos lineamientos uno NE 50° a 80° SW que concuerda con el lineamiento de las brechas y otro con rumbo N-S evidentemente postmineral.

El yacimiento de Los Verdes se localiza en la brecha de Sta. Ana, constituida por clastos de rocas volcánicas fuertemente alteradas, con matriz formada por turmalina, cuarzo y micas, producidas por alteración hidrotermal fílica en la parte media y superior del cuerpo. La parte inferior presenta una matriz producida por alteración potásica, presente en forma de ortoclasa, biotita, turmalina y cuarzo.

Vetas de cuarzo mineralizadas cortan la brecha, lo cual sugiere al menos dos etapas de hidrotermalismo .

Alteración saussurítica afecta la granodiorita y no parece tener relación con la mineralización (Caliens, 1975).

La mineralización económica es molibdenita, calcopirita, bornita, wolframita, calcosita, covelita y digenita.

La zonificación horizontal al parecer está ligada a diferentes etapas de mineralización que producen una secuencia paragenética y por variaciones de temperatura en las soluciones hidrotermales.

Se distinguen tres zonas: una zona de tungsteno en la parte occidental, con wolframita dominante asociada a turmalina con pequeñas cantidades de pirita galena y esfalerita con óxidos de cobre y molibdeno.

Una segunda zona en la parte central, de cobre - molibdeno - tungsteno y por último, la zona de molibdeno con molibdenita, scheelita y pirita, con cantidades menores de galena, esfalerita y tetrahedrita.

El principal control de la mineralización es la brecha, la cual fué un centro de alta permeabilidad y porosidad, lo que facilitó la difusión de las soluciones, las cuales ascendieron a través de fracturas del intrusivo granodiorítico.

d) Depósitos de Placer.

Definición. Se denomina placeres, al material aluvial, eluvial y coluvial que contiene cantidades de interés económico de un mineral valioso. Generalmente tiene lugar la concentración del mineral. Muchos placeres se derivan de depósitos primarios como filones, stockworks y skarns.

Los minerales que se depositan en placeres son aquellos que presentan características físicas de resistencia al desgaste y químicas como la resistencia a la alteración. Entre los más comunes se encuentran la scheelita, wolframita, powelita, casiterita, oro, etc.

En el Estado de Sonora, este tipo de yacimientos de tungsteno se conocen desde poco antes de la Primera Guerra Mundial, en El Nacimiento, Mpio de Cájeme

El mineral explotado es powelita acompañada de pequeñas cantidades de scheelita.

Existe la presencia de scheelita de grano grueso en las gravas del río Yaquí (hacia el norte del poblado La Dura), sin embargo, estos yacimientos (El Nacimiento y La Dura) se encuentran agotados (Wiése y Cárdenas, 1946).

Es posible encontrar nuevos depósitos de placer en la planicie del río Yaquí, ya que es ésta, la cuenca mayor donde drenan muchos de los arroyos que atraviesan las serranías con contenidos en tungsteno, como es el caso del área estudiada.

4) Yacimientos Minerales de la Sierra La Campanería.

a) Mina La Norteña.

Localización y Vías de acceso. Se encuentra en una de las porciones más elevadas de la sierra La Campanería, corresponde a las coordenadas $28^{\circ} 51' 26''$ de latitud N y $109^{\circ} 30' 12''$ de longitud W.

La vía de acceso es el camino de terracería que parte a 500 m. del Torreoncito hacia el SE, que comunica el Rcho. Las Tierras y termina en la mina La Norteña (ver plano 2).

Historia. La búsqueda de los minerales se ve intensificada en las épocas de grandes bonanzas. Es así como el tungsteno fué ampliamente prospectado por gambusinos en Sonora Central en los años sesentas. Dicha prospección se hizo sobre los arroyos con ayuda de lámparas de luz ultravioleta.

En 1967 fué descubierta la zona mineralizada que hoy corresponde a la mina La Norteña, siguiendo aguas arriba los aluviales del arroyo el Aliso.

El lote La Norteña cuenta con trabajos periciales y título de exploración siendo concesionario el Sr. Edgardo Villalobos. Cuenta con una planta de beneficio con capacidad de 60 - 80 Ton/día ubicada sobre el arroyo los Alisos, así mismo con casas habitación, un almacén y comedor para albergar 40 personas además de agua potable. En la mina existen dos polvorines reglamentarios y una casa.

La explotación ha sido a tajo abierto, sin ninguna planeación en las obras mineras, trabajando de 1967 a 1968, reiniciando labores en 1980 y suspendidas en 1982 hasta el presente. En la planta ha existido el problema de recuperación metalúrgica, siendo en ocasiones menor al 60 %.

Geología del Yacimiento. El yacimiento es de tipo skarn o metamórfico de contacto. Las rocas originales son mármoles grises, mármoles con bandas y nódulos de pedernal y corneanas. Estas rocas corresponden a la parte media superior de la Formación Las Tierras. Afloran también areniscas con intercalaciones de lutitas silíceas negras con algunos horizontes de mármol, presentando una estratificación gruesa, pertenecientes a la Fm. Chubisco.

Las rocas graníticas no fueron observadas en el área de la mina con excepción de un pequeño afloramiento de una roca máfica de grano medio.

Algunos diques de composición andesítica con fenocristales de hornblenda cortan el skarn y la roca encajonante, la anchura de estos diques es menor de un metro.

Numerosos diques pegmatíticos y vetas de cuarzo son conspicuos en el área

de la mina, los primeros compuestos esencialmente de cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, biotita, muscovita, granate y en ocasiones scheelita.

Morfología y Estructura. La mina se localiza en el parteaguas de la sierra a 1480 m. de altura y abarca la cima de tres cerros contiguos. En el cerro central se localiza la zona más importante de explotación existiendo tres tajos llamados La Grande, El Puerto y La Dura ; en el cerro situado al sur de éste se localiza un pequeño tajo al cual llamaremos No. 1 y en el cerro situado más al norte se localiza el tajo que denominamos No. 2. Caminos de terracería comunican todas las partes de la mina.

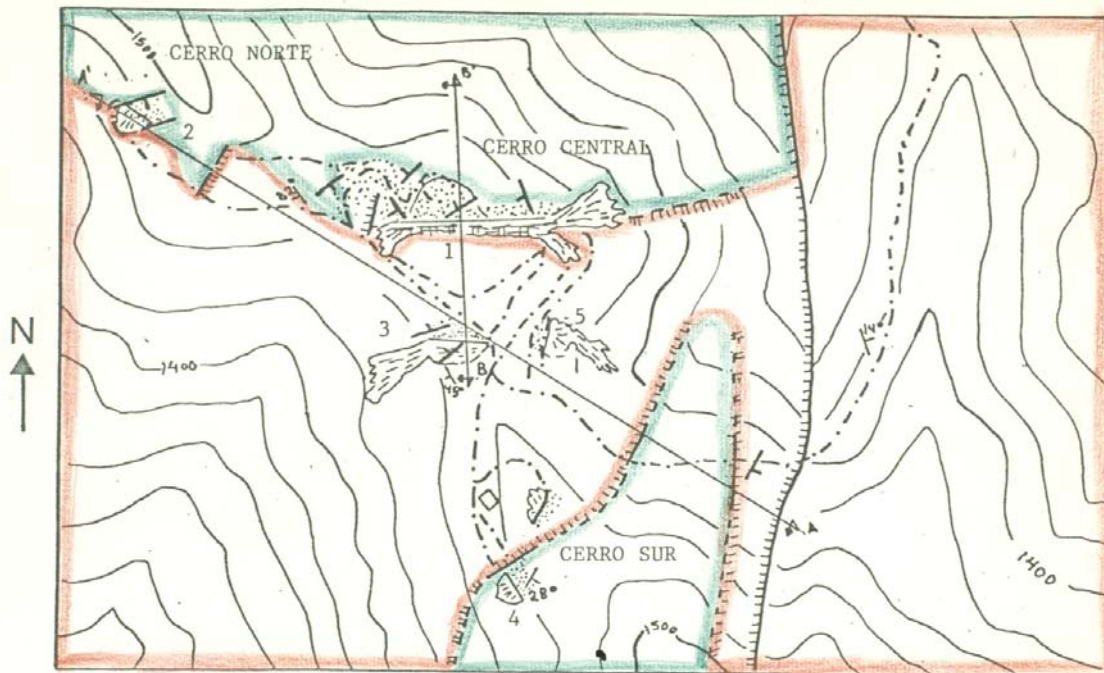
Las laderas tienen pendientes muy pronunciadas. Hacia el este se encuentra el inicio de los afluentes del arroyo el Aliso y hacia el oeste los afluentes del arroyo los Alisos.

Las relaciones estructurales entre las dos unidades metasedimentarias involucradas son complejas (Fig. 13 A). Los echados indican la existencia de un anticlinorio cuyos ejes son NNW-SSE que contiene otros pliegues de escala decamétrica, este plegamiento está relacionado a eventos compresivos asignados al Cretácico.

Existen dos sistemas principales de diaclasas representadas en el diagrama 6, uno con dirección NW 5° - 35° SE y echados de 60° a 90° SW en el cual se emplazan diques andesíticos y pegmatíticos, el otro con rumbo NE 34° - 60° y echados de 40° a 80° NW el cual es aprovechado por diques pegmatíticos (Fig. 16 C). Este fracturamiento es anterior a la circulación de los fluidos magmáticos por lo que debe relacionarse al plegamiento y/o a los esfuerzos producidos durante el emplazamiento granítico.

Es común el fallamiento inverso de bajo ángulo, incluso pequeños cabalgamientos, que afectan tanto a las rocas sedimentarias como a los sistemas de diques que las atraviesan (Figs. 13 y 16). Estas estructuras son atribuidas a efectos compresivos paleocenos. Se reconocen tres sistemas de fallas en etapas sucesivas que se muestran en el diagrama 7.

El primer sistema tiene rumbos que varían de 20° - 50° NE y echados entre 21° - 45° NW, desplazan a diques básicos y pegmatíticos ; el segundo sistema con rumbos NW 15° - 45° y echados de 20° - 30° NE y de 30° - 50° SW corta a pegmatitas y diques básicos, emplazados a veces en el sistema anterior de fallamiento. El tercer sistema es un fallamiento inverso de gran ángulo con rumbo NW 80° - NE 80° y echados de 75° - 85° S, desplaza a vetas de cuarzo principalmente. Estos sistemas de fallamiento inverso coinciden con las observaciones generales en el área.














- | | | | |
|---|---|---|-----------------------------|
|  | Fm. Las Tierras: Mármoles con pedernal y corneanas. |  | Zona mineralizada |
|  | Fm. Chubisco: areniscas y lutitas negras y pardas. |  | Tajo y Terrero. |
| 1.- | TAJO LA GRANDE |  | Falla normal |
| 2.- | TAJO No. 2 |  | Falla inversa |
| 3.- | TAJO EL PUERTO |  | Rumbo y Échado de las capas |
| 4.- | TAJO No. 1 |  | Secciones |
| 5.- | TAJO LA DURA |  | Camino |
| | |  | Casa |
| | ESCALA 1 : 5 000 |  | Curvas de Nivel cada 20 m. |
- las líneas indican el buzamiento

FIG.12.- PLANO DE LA MINA LA NORTEÑA

SE

NW60°

SECCION ESQUEMATICA COMPUESTA A-A'



CERRO SUR
CAMINO DE ACCESO

Mármolés y corneanas con bandas y nódulos de peder-
nal

Diques volcánicos básicos

Intrusivo microdiorítico

Fallamiento normal

Fallamiento inverso.

CERRO CENTRAL
TAJO EL PUERTO

Areniscas y lutitas limolíti-
ticas muy alteradas. A ve-
ces con sulfuros.

Diques voicánicos básicos

Arenisca con intercalacio-
nes de lutita negra. Fm.
Chubisco.

Intrusivo microdiorítico

Fallamiento normal

Fallamiento inverso.

CERRO NORTE
TAJO No. 2

Mármol blanco y gris
y corneanas. Fm Las
Tierras

skarn y
skarnoides.

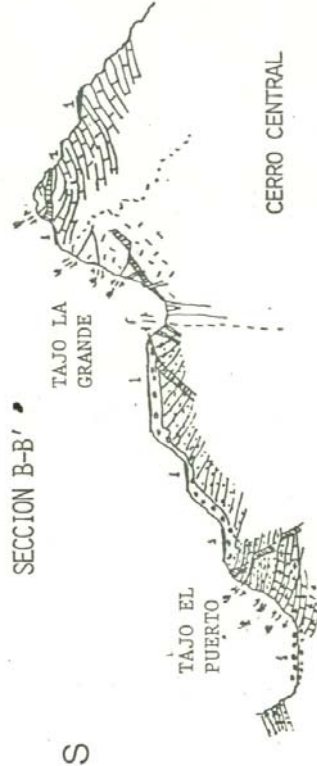
Zonas de metasomatismo
y alteración.

Cubierta
Aluvial

Escala aproximada 1 : 2500

Escala horizontal
0 25 50 m.

SECCION B-B'



S

N

TAJO LA
GRANDE

TAJO EL
PUERTO

CERRO CENTRAL

Mármolés y corneanas con
bandas y nódulos de peder-
nal

Diques volcánicos básicos

Skarnoide

Diques pegmatíticos y de
cuarzo

Skarn y zonas de meta-
somatismo.

Fallamiento normal

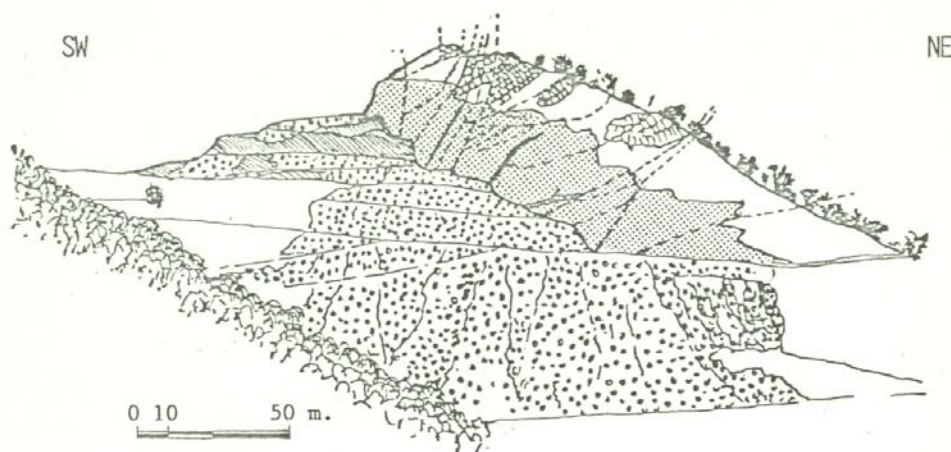
Fallas inversas

Areniscas
limolíticas.

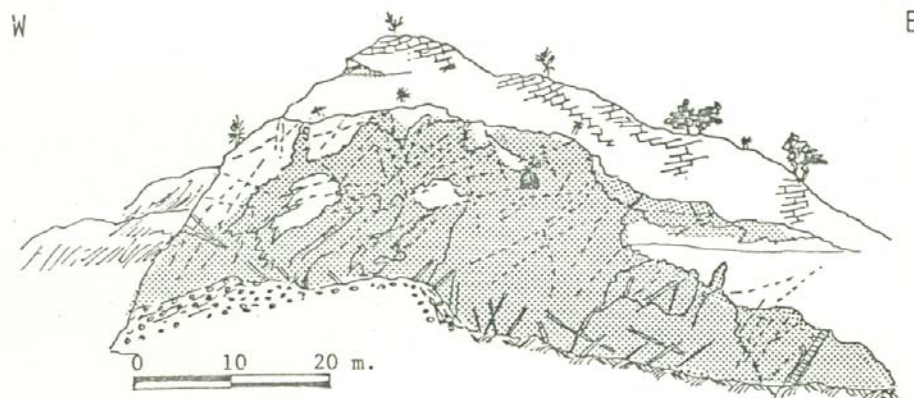
Planilla

FIGURA 13 .-

VISTA GENERAL AL NW DEL TAJO LA GRANDE



TAJO LA GRANDE
VISTA AL NORTE






- | | | | |
|---|---|---|---------------------|
|  | Terreros |  | Diques básicos |
|  | Areniscas y lutitas
Fm. Chubisco. |  | Diques pegmatíticos |
|  | Mámoles y Corneanas
Fm. Las Tierras. |  | Fracturas y Fallas |
|  | Skarn y zonas de Metasomatismo | | |

FIGURA 14.-

Fallas normales de tipo distensivo cortan la secuencia. Una de ellas de longitud kilométrica y salto relativamente reducido atraviesa la parte oriental del área de la mina con rumbos NW 10° y echado al SW; fallas asociadas a ésta, se observan sobre el camino, poco antes de llegar a la mina y ponen en contacto mármoles plegados de la Fm. Las Tierras con areniscas de la Fm. Chubisco (Fig. 13 A). Existe otra falla importante con una dirección aproximada E-W paralela al tajo La Grande, en el campo esta falla confronta las dos unidades metasedimentarias, pero la traza está oculta por los terreros (Fig. 13 B).

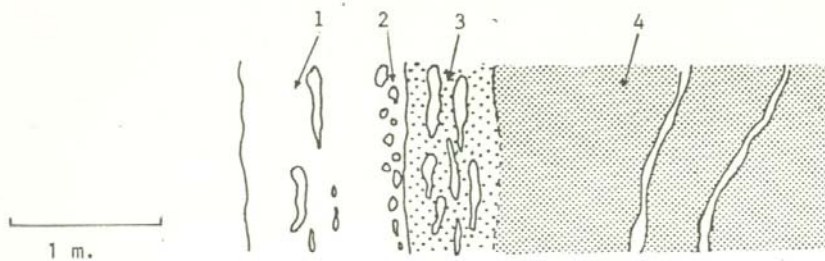
Descripción de Los Tajos. Existen dos formas en que los fluidos metamórficos circularon en la roca encajonante, produciendo por tanto dos morfologías diferentes de skarn: 1) a lo largo de la estratificación dando lugar a bandas de minerales paralelas y alternantes, que cubren toda la roca encajonante como en los tajos No. 2 y El Puerto, o a bandas mineralizadas estratiformes intercaladas con bandas no metasomatizadas de roca encajonante como en el tajo No. 1 (skarnoides). La 2) es a lo largo de diaclasas y fallamiento, formándose los skarns y zonas mineralizadas cortando la estratificación de la roca encajonante esto es notable en los tajos No. 1 y La Grande.

Tajo La Grande.

Es el tajo principal (Fig. 14), tiene una dirección aproximada E-W, en su pared norte se observa un intenso fracturamiento que corta las diferentes zonas. En la parte oeste aflora un mármol blanco, en la parte este una corneana con cuarzo y un poco de granate, cortado por un dique andesítico con fenocristales de hornblenda (Fig. 15 C), a ambos lados de este dique existen vetas pegmatíticas que siguen su misma dirección. En la parte central se trata de un skarn de granate (Lám. No. NR-9 y 10) cortada por numerosos diques de pegmatitas de hasta un metro de espesor. En ocasiones las pegmatitas presentan una clara zonificación hacia la roca encajonantes (Fig. 15 A), con bandas alternantes de granate verde, rojo y calcita. En la parte superior del tajo es evidente una fuerte alteración formada a lo largo de las fracturas que ha producido una roca de color verde claro afanítica. Los límites entre las zonas son graduales.

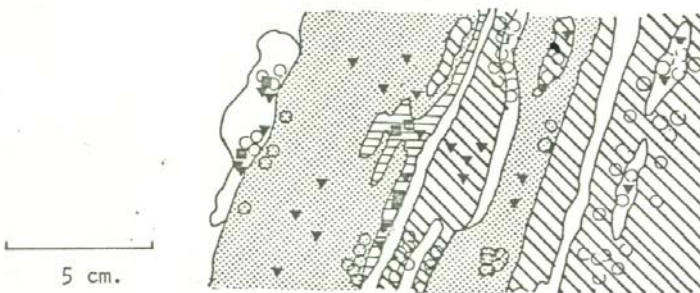
Tajo El Puerto.

En este tajo se observan dos zonas claramente distinguibles, la parte superior se encuentra cabalgando mediante una falla inversa, con rumbo NE 50° y echado 25° NW, igualmente otras fallas inversas asociadas cuya dirección varía entre 45°-80° NE y echados 21°-25° NW, la cual está constituida de cuarcitas y



A.- ZONA DE TRANSICION ENTRE UNA PEGMATITA Y UN SKARN

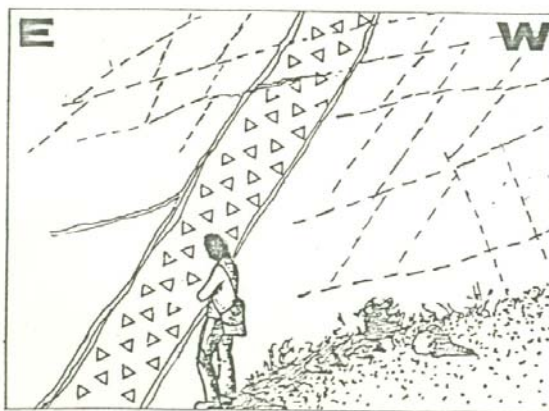
- 1.- Pegmatita cuarzofeldespática con scheelita, micas, calcita yeso y pirita.
- 2.- Pequeña zona con granate y poca diópsida dentro de la pegmatita
- 3.- Zona intermedia donde predomina el granate con bolsas de cuarzo.
- 4.- Skarn de diópsida y granate cortado por vetillas de cuarzo y scheelita.



B.- DISTRIBUCION MINERALOGICA DENTRO DE UN SKARNOIDE.

- Zona de diópsida (Czo. epi) y sulfuros
- Zona con granate (epi)
- Zona con epidota (sulfuros)
- Zona con cuarzo

- Enriquecimiento de granate
- Enriquecimiento de diópsido
- Enriquecimiento de sulfuros (dio, czo, epi)



- Dique básico
- Vetilla cuarzo-feldespática
- Diaclasas

FIG. 15

C.- RELACION ENTRE DIQUES BASICOS, CUARZOFELDESPATICOS Y DIACLASAS

rocas con fuerte alteración metasomática e hidrotermal, está muy fracturada - (fig. 16 A).

La parte inferior está formada por un skarnoide con bandas minerales de -- granate verde, rojo, cuarzo, epidota y diópsida (Lám. No. MN-14 ZA). Otros minerales que siguen bandas selectivas son scheelita, pirita y esfalerita (Fig. 15 B). Esta zona es cortada por pequeñas vetas cuarzo-feldespáticas y de cuarzo - que intersectan el bandeamiento del skarnoide que tiene un echado de 45° al SW.

Tajo No. 1.

Afloran aquí tres zonas de skarnoide formadas por la circulación de flui-- dos a lo largo de juntas de estratificación, se encuentran intercaladas con dos horizontes de mármol blanco con estratificación media con rumbo NE 78° y echado 28° SE, existe una zona de skarn formada a ambos lados de las fracturas, rellenas de sílice que cortan diagonalmente las rocas estratiformes (Fig. 16 B).

En la parte occidental esta secuencia está en contacto por medio de una fa lla normal con areniscas de cuarzo de grano fino de la Fm. Chubisco.

En su parte oriental es cortada por un dique andesítico con fenocristales de hornblenda de medio metro de espesor.

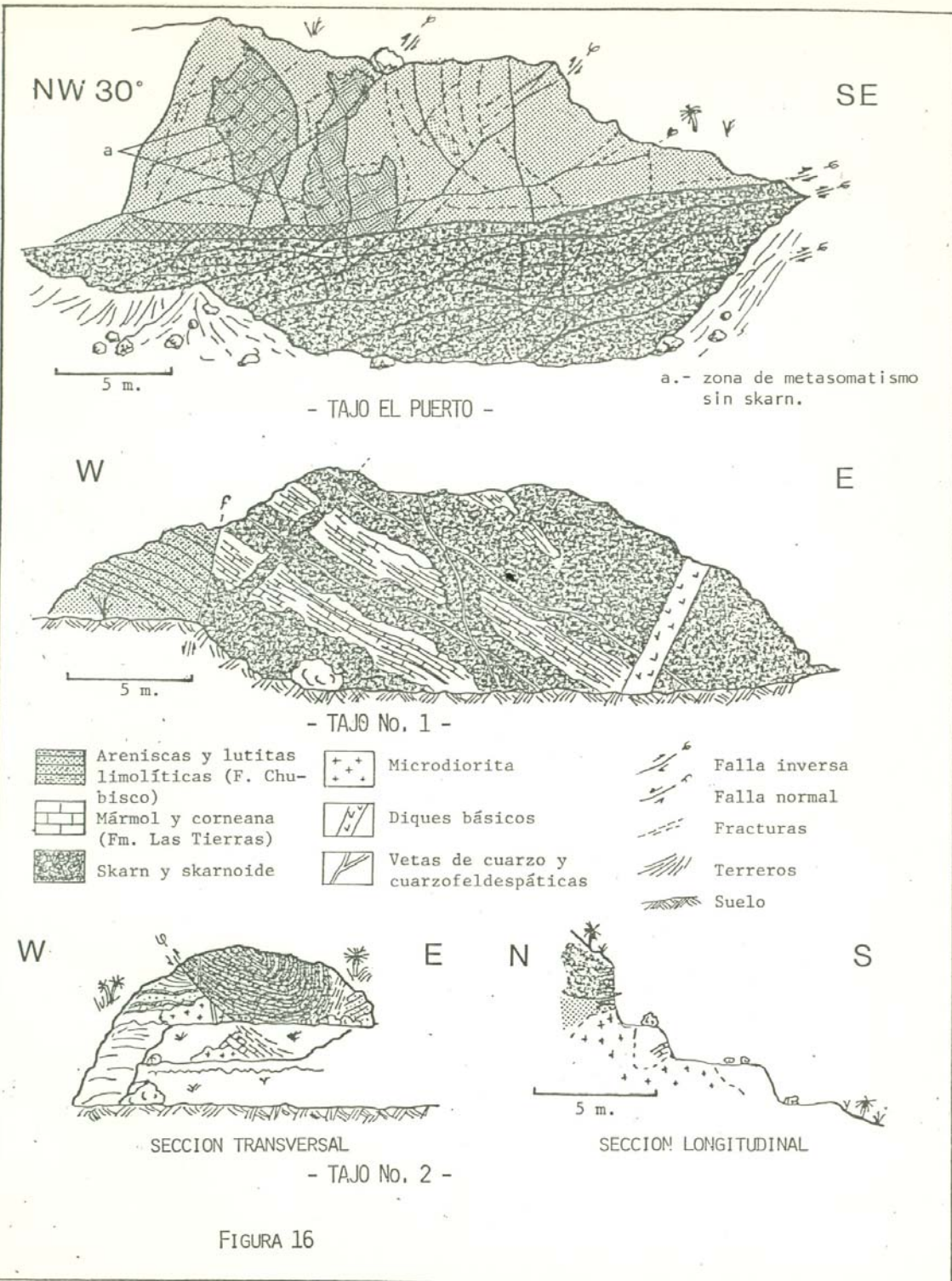
Las bandas del skarnoide están formadas principalmente de granate rojo, -- calcita, cuarzo y mineralización de sulfuros (pirita, esfalerita) y scheelita. El mármol tiene granates verdes, rojos y feldespatos potásicos en una masa granuda de calcita.

Tajo No. 2.

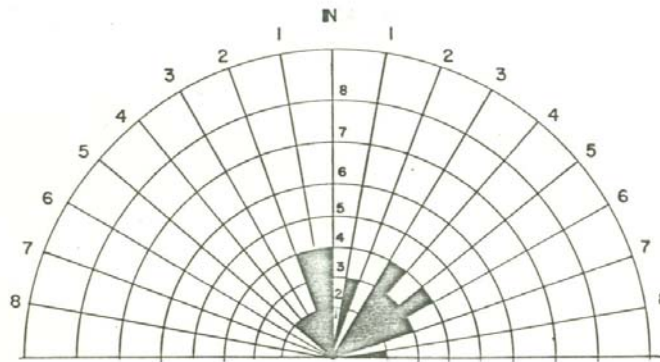
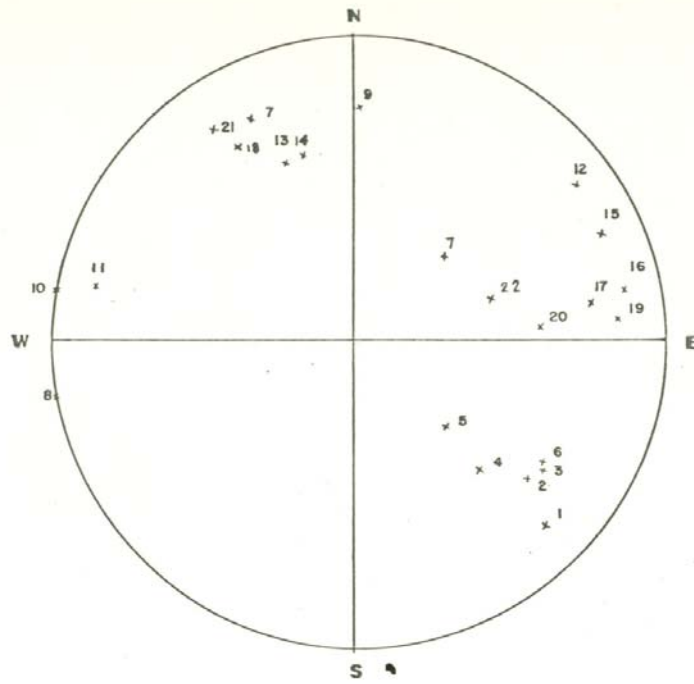
Es un pequeño tajo donde se observan dos niveles (Fig. 16 C). En el superior (Nivel 1) se encuentra un skarnoide (Lám. No. 24 MNR) cuyo bandeamiento pa rece seguir un plegamiento preexistente, sus bandas son similares a las de los otros skarnoides. En la parte oeste está en contacto por falla inversa con una arenisca con bandas limolíticas amarillas y con una microdiorita oscura (Lám. - No. MNo 21).

En la parte oriental una zona de fracturación separa el skarnoide de una a renisca limonítica metamorfizada con mineralización de pirita, calcopirita y -- marmatita, está cortada por vetillas de sílice y muy alterada. Una veta de -- cuarzo centimétrica corta las rocas ígneas y metamórficas que a su vez es des-- plazada por una falla inversa. En el nivel dos aflora una corneana con biotita y cuarzo además del intrusivo máfico.

Mineralización y Fracturas. Con las diferentes observaciones a lo largo



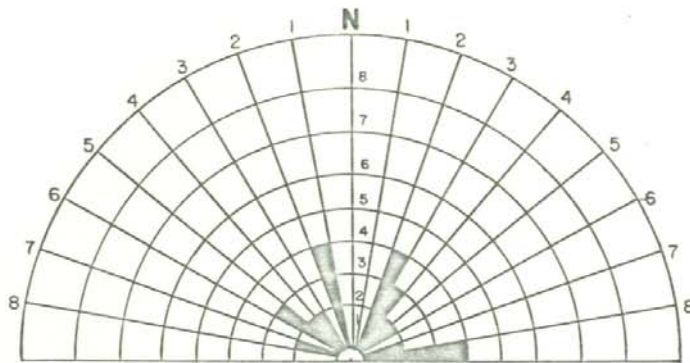
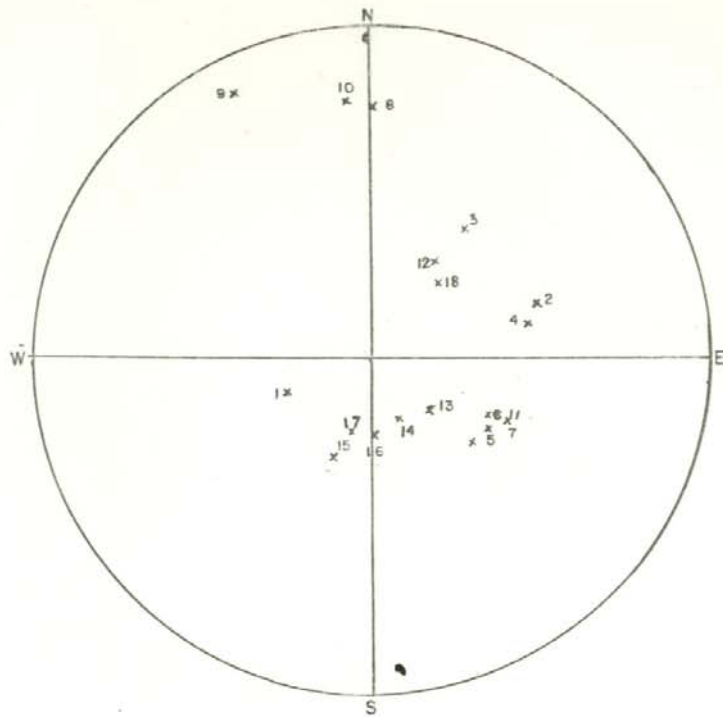
DIAG. 6.-FRACTURACION EN LA MINA "LA NORTEÑA"



RUMBO	ECHADO
1 45° NE	81° NW
2 40° NE	70° NW
3 35° NE	72° NW
4 47° NE	59° NW
5 60° NE	41° NW
6 34° NE	74° NW
7 45° NW	40° SW
8 10° NW	90°
9 EW	75° S
10 10° NE	90°
11 12° NE	83° SE

RUMBO	ECHADO
12 35° NW	81° SW
13 67° NE	75° SE
14 72° NE	64° SE
15 25° NW	81° SW
16 10° NW	82° SW
17 13° NW	75° SW
18 60° NE	79° SE
19 5° NW	80° SW
20 5° NW	60° SW
21 55° NE	80° SE
22 15° NW	47° SW

DIAGRAMA 7.-FALLAS EN LA MINA LA NORTEÑA



RUMBO	ECHADO
1. 20° SE	29° NE inverso
2. 20° NW	57° SW inverso
3. 53° NW	53° SW inverso
4. 15° NW	51° SW Inverso
5. 34° SW	43° NW inverso
6. 22° NE	45° NW ?
7. 26° NE	45° NW ?
8. E.W	76° S inverso
9. 62° NE	85° SE inverso

RUMBO	ECHADO
10. 85° NE	78° SE inverso
11. 22° NE	50° NW inverso
12. 55° NW	34° SW inverso
13. 40° NE	28° NW inverso
14. 45° NE	21° NW inverso
15. 70° NW	36° N inverso
16. 80° NE	26° NW inverso
17. 85° NE	27° NW inverso
18. 33° NW	30° SW inverso

de los tajos se puede rehacer una historia tentativa del emplazamiento del granito y de las diferentes estructuras en conjunto con la mineralización.

Con el estudio cartográfico del área, en base a correlación con otros granitos cercanos, el intrusivo granítico se asigna a la Orogenia Laramide.

Un sistema de diaclasas conjugado se encontró en las rocas carbonatadas, el cual es anterior a los diques y a la mineralización. El sistema de diaclasas 1 es utilizado por diques andesíticos (Fig. 15 C).

Posteriormente un sistema de fallas inversas 25°- 50° NE (Sistema 1) afecta la zona y desplaza los diques andesíticos. Enseguida, una fase pegmatítica aprovecha la estratificación, el sistema de diaclasas 1 y 2 así como el sistema de fallas 1. Las pegmatitas tienen composición y espesor diferente, la mayoría están compuestas por cuarzo y feldespato, presentando alteración posterior. Son desplazadas por un fallamiento inverso de rumbo 20° NW (Sistema 2).

Sigue otro sistema de fallas inversas (Sistema 3) con rumbo casi E-W y echados al sur.

Una primera fase de mineralización, de tipo metasomático viene con el skarn con una fugacidad de H₂O importante, utilizando el sistema de fracturación y fallamiento antes descrito. Antecede a una fase neumatolítica intensa, emplazada principalmente en el sistema de fallas 1 (Diag. 6 y Petrografía), al decrecer la temperatura, con removilización posible de la scheelita, sigue una fase de sulfuros y una etapa hidrotermal representada por calcita y yeso principalmente lo cual indica una circulación de fluidos importante a lo largo de la fracturación. Los sistemas de fallas 1 y 2 presentan reactivación posterior al metasomatismo (Diagrama 7).

Por último el área es afectada por fallamiento distensivo del Neogeno, ampliamente distribuido por fallas normales de gran ángulo.

En resumen se presenta una tabla recapitulativa de los eventos :

- 1.- Intrusivo Laramide.
- 2.- Diaclasas NW 5°- 35° echado 60°- 90° SW (Sistema 1). Posiblemente
Diaclasas NE 34°- 60° echado 40°- 80° NW (Sistema 2). preexistentes.
- 3.- Diques andesíticos en el sistema de diaclasas 1
- 4.- Fallas inversas 28°- 50° NE echado 20°- 50° NW.
- 5.- Diques pegmatíticos .
- 6.- Sistema de fallas inversas rumbo 20° NW echado 29° NE.
- 7.- Sistema de fallas inversas E-W con echados 78°- 85° SE.
- 8.- Skarn con primera mineralización, metasomatismo.

- 9.- Diques con cuarzo y granate neumatolítico.
- 10.- Reactivación del fallamiento inverso mediante los sistemas 1 y 2.
- 11.- Fallamiento normal Neogeno.

Petrografia. Se realizaron 7 láminas (NR-9, NR-10, NR-20, MNo.3, MNo.-14 ZA, MNO. 21 y MNR-24).

Las muestras pertenecen a los distintos tajos y al intrusivo microdiorítico.

Muestra NR-10.- Es de color rojizo con una leve zonación no muy bien definida, con partes más rica en granate rojo y otras de color verde pistache que puede corresponder a diópsida - epidota y de color verde claro posiblemente vesubianita. Existen zonas de relleno y vetillas de cuarzo. Se encuentran muy pocos sulfuros diseminados en pequeños cristales que no exceden el milímetro de diámetro, al parecer de pirita. Localización Tajo La Grande.

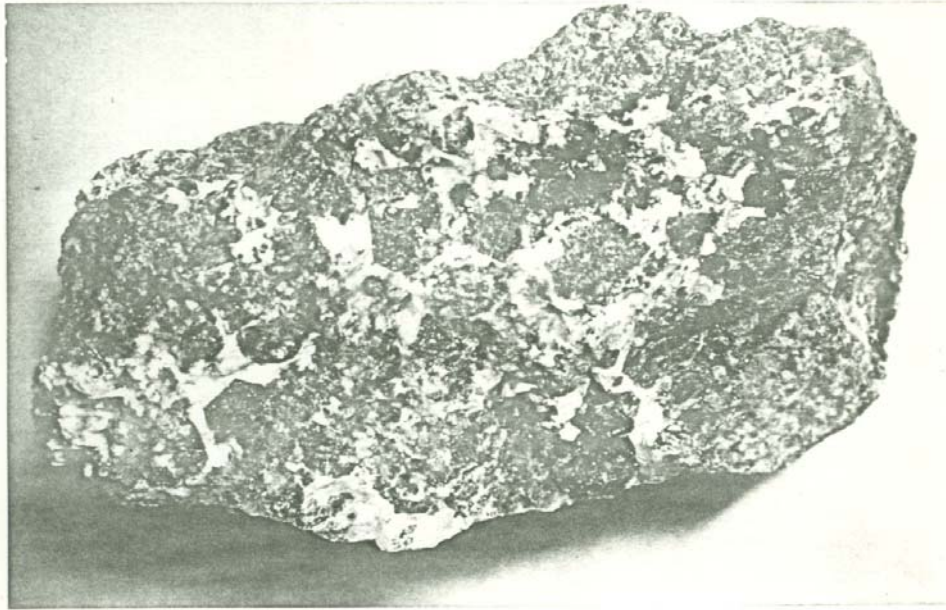


Foto 21.- Skarn mineralizado de la mina La Norteña. Se observan cristales bien desarrollados de granate rojo, cuarzo, feldespato y fluoruros (en blanco y gris respectivamente). Se encuentra mineralizado con sulfuros: pirita (amarillo latón) y marmatita (negro). Existen cristalitos de scheelita en el granate. Tajo El Puerto.

Muestra MNR-24.- No presenta mucha diferencia con la muestra precedente, la zonificación es menos marcada y tiene mucho cuarzo. Este mineral aparece igualmente en vetas de 5 mm. de espesor, el granate puede estar asociado a esta veta. Localizado en el Tajo No. 2.

Muestra MNo 3.- Se encuentra en una matriz de cuarzo bastante granate rojo, algunos cristales bien formados de fluoruro; muy poco feldespato de color rosa, indicando una naturaleza pegmatítica. Hay unos minerales café oscuro con brillo vítreo no identificado, y algunos sulfuros oxidados. Localizado en el Tajo La Grande.

Muestra MNo.14 ZA.- Los minerales principales son el granate y el cuarzo, este último rellenando. Se observa también poco feldespato y fluoruro dentro del cuarzo. El granate bien cristalizado, en las vecindades con el cuarzo es de color rojo. Se encuentra una zonificación de granate por una parte y de minerales verdes diópsida, epidota, por otra. Se encuentra también el mineral café oscuro, el cual parece corresponder a un tipo de alteración ya que se encuentra sólo superficialmente. Hay dos tipos de sulfuros: pirita común en las muestras anteriores y otro que puede corresponder a marmatita. Tajo El Puerto.

Muestra NR-20.- Se observan dos zonas diferentes, ambas imbuidas en el cuarzo. Una zona de color rojo con granate principalmente y otra de color verde básicamente de epidota. Las dos zonas son excluyentes.

A primera vista en las muestras se nota una fase neumatolítica muy importante con aporte de F como fluorita (?) asociado al cuarzo. Según Gunlach y Thorman (1960), la relación del flúor como transportador de la scheelita no es todavía muy clara, pero existen experiencias que prueban su importancia. A reserva de un estudio más preciso, es probable que esta fase neumatolítica sea responsable del enriquecimiento secundario de scheelita en el skarn.

Descripción de las láminas.

Lámina NR-9.- Está formada por cristales de granate bien formados, los cuales no presentan una extinción total, sino alternada, este granate es una variedad de la grosularia cuya fórmula es $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ llamada pirineita.

También se encuentra un mineral idioblástico de color verde que presenta una alteración (en luz normal tiene un centro verde y borde amarillo), el mineral puede ser probablemente el granate uvarovita $(\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3)$ y la alteración puede corresponder a una kelifitización, que es una epigenia por una clorita acompañada en ocasiones por epidota. Este mineral está asociado a un mineral qpaco (no identificado) y al granate pirineita.

Un piroxeno de la serie diópsida en cristales idioblásticos junto con el granate. Como minerales de alteración del granate y piroxeno están la epidota (más abundante), calcita y clorita. Por último cuarzo relleno de todos los espacios, dentro del cual se encuentra un fluoruro (criolita ?) e inclusiones de apatito.

Lámina NR-10.- Constituida principalmente por granate pirineita en una proporción del 40 %, diópsida en cristales subidioblásticos (7 %) acompañando a la epidota y a veces a cristales xenoblásticos de calcita.

Idocrasa cristalizando alrededor del granate en cristales bien formados (10 %). El cuarzo 30 % presenta una cristalización tardía englobando los minerales anteriores (Fig. 17 C).

Lámina NR-20.- La diópsida y vesuvianita presentan una cristalización más o menos sincrónica, una actinolita de composición variable (uralita) es el producto de alteración o uralitización del piroxeno. Epidota, calcita y cuarzo son los minerales posteriores (Fig. 17 B).

Lámina MNo. 3.- En esta lámina el cuarzo está presente en mayor abundancia (50 %), presentando golfos de corrosión en los cristales de fluoruro (criolita ?) idio-subidioblásticos (15 %). Granate pirineita muy alterado quedando pocos vestigios de este mineral (15 %). Epidota (5 %) en su variedad pistachita en cristales subidioblásticos y en cristales aciculares en el cuarzo, diópsida (7 %) acompañando al granate, cristales radiales de clorita y calcita en cristales xenoblásticos (Fig. 17 A).

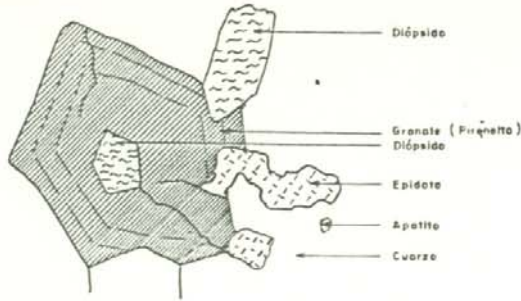
Las lagunas de corrosión y el porcentaje elevado de cuarzo y fluoruro indican una fase volátil importante.

Lámina MNo. 14 ZA.- Esta lámina no presenta variación importante con las láminas anteriores (mismo granate pirineita, piroxeno diópsida...) pero se encuentra calcita en porcentaje más elevado (Fig 17 B).

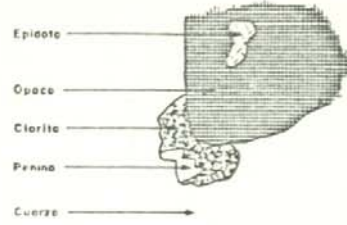
Lámina MNR- 24.- La pirineita idioblástica también está en proporción más elevada que el piroxeno, calcita reaccionando con epidota como minerales de alteración del granate y piroxenos. Existe clorita y penina alrededor de los sulfuros. El fluoruro es cortado por delgadas vetillas de cuarzo, el cual también está presente en cristales xenoblásticos con inclusiones de apatito (Fig. 17 A).

Lámina MNo. 21.- Se trata de una roca compuesta principalmente por anfíbol y plagioclasa. El primero presenta dos variedades: hornblenda y actinolita en -

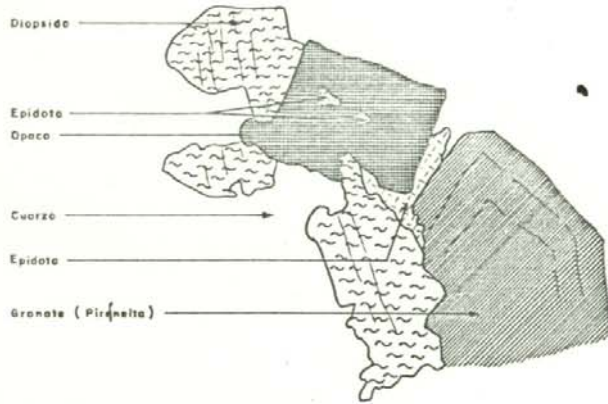
LAMINA 24 MNR



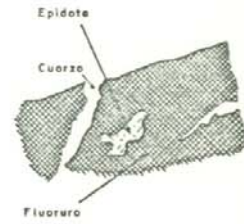
A (x100)



B (x100)

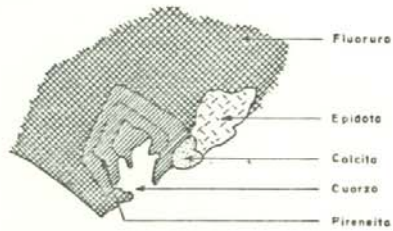


C (x100)

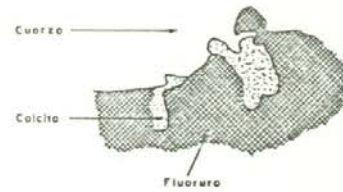


D (x100)

LAMINA MNo 3

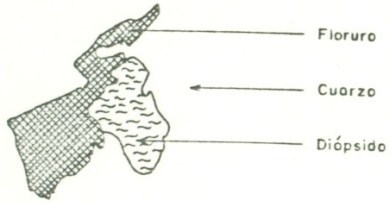


A (x100)



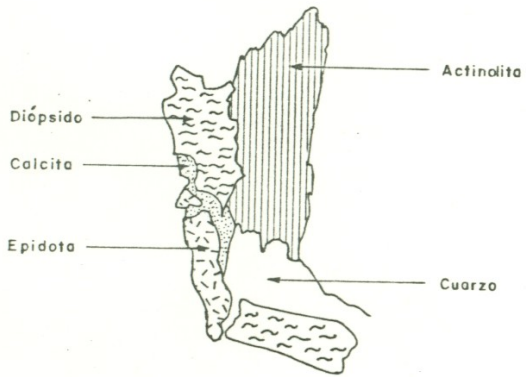
B (x40)

LAMINA MNo 14 ZA

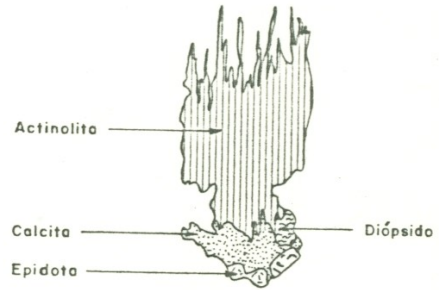


A (x 40)

LAMINA NR 20



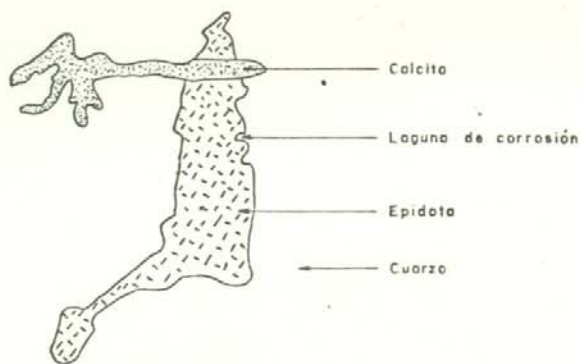
A (x40)



B (x 40)

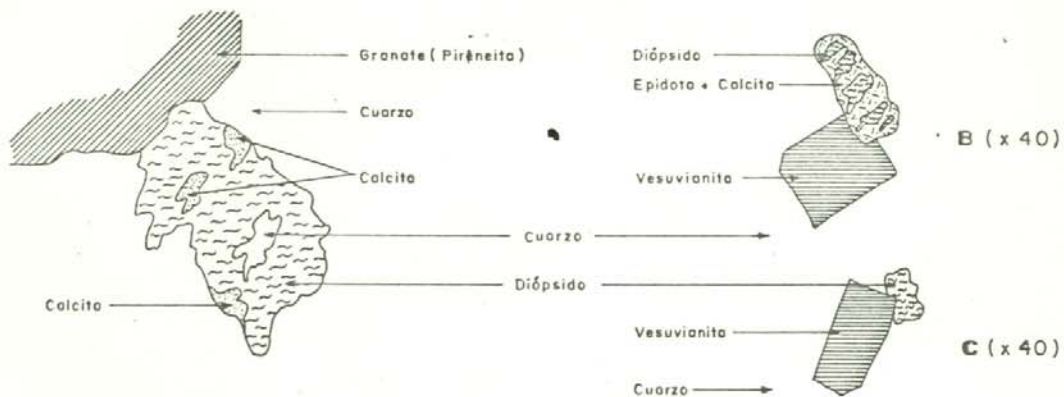
FIG. 17B.-

LAMINA M No 3



C (x 100)

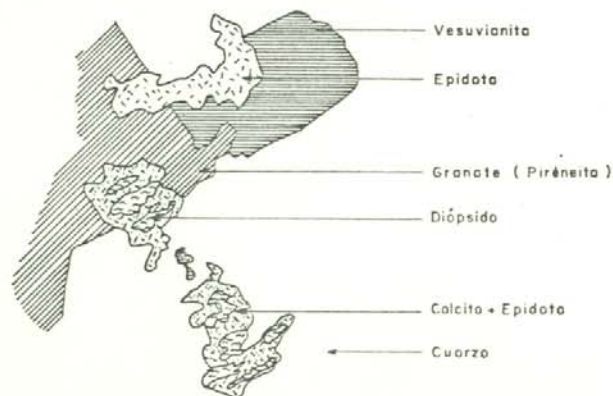
LAMINA NR 10



A (x 100)

B (x 40)

C (x 40)



D (x 40)

FIG. 17 C.-

cristales bien formados de hasta 2 mm. Las maclas de las plagioclasas se encuentran casi borradas por la alteración hidrotermal (saussuritización), está siendo reemplazada por epidota, clorita-penina y calcita .

La pistachita presenta zonación, al lado de esta cristaliza la clinozoisita. Como minerales accesorios se encuentran dos tipos de minerales opacos posiblemente pirita y marmatita rodeados por cristales irregulares de esfena.

Esta roca tiene una composición diorítica y es similar a las rocas encontradas en el semigraben del río Yaqui descritas en el inciso 2 a) .

Petrogénesis. En las láminas estudiadas de la mina La Norteña se encontró una predominancia del granate sobre el piroxeno, cristalizando al mismo tiempo y en ocasiones posterior el piroxeno.

El granate más abundante es la pirineita, tipo particular de la grosularia. La uvarovita está asociada a este granate en una proporción reducida.

Ambos granates son cálcicos y pertenecen a la serie Ugrandita, debido a la abundancia de calcio proporcionada por la caliza.

El granate pirineita no presenta alteración importante, entonces se puede pensar que el sistema grosularia + cuarzo no es muy inestable, esto indica una temperatura de formación inferior a los 600° C. XCO_2 de los fluidos formadores del skarn usualmente más pequeños que 0.4 prueban que el skarn es formado a temperaturas menores de 600° C (Shimazaki, 1981).

El piroxeno pertenece a la serie diópsida con ángulos de extinción de 36°-41°, es un piroxeno magnesiano que varía de diópsida a salita.

La composición del granate y del piroxeno señalan una pobreza en hierro de los minerales de metasomatismo.

En algunos cristales de piroxeno se observa una extinción diferente en el borde y en el centro, el cual corresponde a una diópsida y el borde a una salita que muestra un enriquecimiento (de hierro) todavía débil en el curso de la cristalización en la etapa metasomática .

La idocrasa (vesuvianita) cristaliza posterior a estos minerales. Su fórmula ideal es $Ca_{10}(Mg,Fe)_2Al_4Si_9O_{34}(O,H,F)_4$ (Deer et al, 1962), algunos trabajos sobre la relación de la estabilidad de la idocrasa magnesiana fueron efectuados por Hochella et al (1982) donde mencionan que la idocrasa en presencia de cuarzo puede ser estable solamente a temperaturas más bajas de 400° C y XCO_2 menor de 0.015 a 2 Kb. de presión de fluido.

La idocrasa en la Norteña está en cristales idioblásticos y sin alteración en un ambiente con cuarzo y minerales producidos por la alteración de los

piroxenos a calcita + epidota + cuarzo.

La epidota tiene un tiempo de cristalización posterior a la idocrasa, es uno de los minerales a que se altera el piroxeno y el granate acompañado por calcita y cuarzo. Muestra un color poco intenso a luz normal, lo cual puede indicar baja proporción de pistachita y por lo tanto de fierro, su fórmula es $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{III})\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ y es uno de los minerales más frecuentes de los skarns.

Con una fugacidad de oxígeno relativamente baja, los skarns con epidota deben ser formados en un estado de relativa oxidación.

El anfíbol se presenta fibroso con ángulo de extinción Ng: $13-16^\circ$, entonces se trata de una actinolita (sensus strictus) de 30 a 80 % en Fe en relación al magnesio. Se encuentra relacionada a la diópsida como producto de alteración de ésta, acompañada por cuarzo y calcita, por lo tanto es posterior al piroxeno. Shimazaki (1980) encontró que la composición de las actinolitas, producto de alteración de los clinopiroxenos (en el yacimiento de Yaguki) está controlada por la fugacidad de oxígeno.

La epidota también con 30 % en mol de pistachita es un buen indicador de un estado relativamente más alto de oxidación, pero microscópicamente es difícil conocer el porcentaje exacto de pistachita en la epidota.

El fluoruro se halla en granos bien cristalizados presentando clivaje secundario que podría corresponder a la fluorita o posiblemente a la criolita. Este mineral de cualquier modo, viene con la fase neumatolítica junto con el cuarzo.

Esta fase debe ser importante en base a que las rocas con un porcentaje de cuarzo elevado, se encuentran muy distribuidas así como las vetas cuarzosas y cuarzofeldespáticas. Lo cual es también confirmado por la presencia de fluoruros que deben indicar la existencia de H_2O en esta etapa, en cantidad importante, aunque faltan argumentos petrográficos.

La scheelita, mineral difícil de detectar en lámina delgada no fue observada, sin embargo las observaciones de campo señalan su asociación con el cuarzo y el fluoruro en el skarn, lo cual podría indicar que viene (al menos en parte o removilización) en la fase neumatolítica.

La ocurrencia de este mineral, diseminado llenando los intersticios entre los cristales idio-subidioblásticos de los minerales del skarn, puede significar una formación tardía de la scheelita en relación con los minerales del skarn, aunque tanto unos como otros se formen durante un proceso continuo de actividad de fluidos acuosos (Shimazaki, 1982).

Minerales posteriores a esta fase neumatolítica son la clorita, calcita y cuarzo, los cuales son producto de alteración hidrotermal ulterior a la mineralización.

Importancia Económica del Depósito. Un cálculo de reservas de la mina La Norteña fué realizado por Aguirre y Figueroa en 1983. Los muestreos se realizaron en los tajos La Grande (en la zona de corneanas y de diques pegmatíticos con skarn) y en los tajos El Puerto y La Dura.

Se calcularon reservas probables de 29, 670.70 ton. y posibles de 75,086.60 que dan un total de 104,751.30 con una concentración promedio de WO_3 de 0.316 % .

Sin embargo, como lo especifican los mismos autores los resultados de los análisis químicos de las muestras son dudosos, además no se consideraron otras zonas mineralizadas (como las tajos No. 1 y No. 2), por lo que las reservas tanto probables como posibles quizás fueron subestimadas.

Por otra parte, en ningún tajo se observa el contacto con el granito y es probable la continuidad del skarn mineralizado hasta el mismo, como en la mayoría de los yacimientos de este tipo en el mundo. Esto sólo puede comprobarse mediante una serie estructurada de perforaciones, lo cual aunado a un buen muestreo y análisis, permitiría establecer con exactitud la importancia económica del depósito, que por lo antes señalado, es muy probable que sea mucho mayor de lo estimado.

Conclusiones.

La intrusión que se observa corresponde a una microdiorita de hornblenda en afloramientos muy reducidos. El granito es la intrusión más importante y no se observa en el área de la mina. El contacto de la microdiorita con la roca encajonante parece intrusivo. La morfología indica que esta mina se localiza en la parte apical de un plutón granítico-granodiorítico.

Hay dos sistemas de diaclasas y fallas inversas anteriores a la intrusión. Eventos compresivos dieron lugar a la formación de pliegues, reflejados en el buzamiento de las capas. Existe una red de fallas inversas de poca magnitud, incluso cabalgamientos reducidos que cortan el skarn en tres sistemas principales, cuya formación relativa coincide con la de los diques andesíticos y pegmatíticos.

Algunas fallas normales de salto relativamente importante, dan lugar a bloques con límites aproximadamente N-S y E-W, estas fallas son el último evento importante de deformación.

La roca encajonante está constituida por mármoles con calcita principalmente, algo de diópsida, wollastonita, escapolita, granate, cuarzo y cordierita. Las corneanas son de cuarzo, epidota, diópsida y granate.

La roca encajonante se encuentra afectada por reacciones de metamorfismo isoquímico y bimetasomatismo (formado por difusión entre dos zonas de distinta composición con aporte de Ca del mármol y Al, Mg de las bandas intercaladas).

La presencia de cordierita implica temperaturas mínimas de metamorfismo de aproximadamente 500 - 600 °C (Hirschberg y Winkler, 1968). La presencia de grosularia requiere temperaturas de aproximadamente 550 °C según Gordon y Greenwood (1971) y la wollastonita (Greenwood, 1977) estable a 2 kb. también requiere una temperatura similar.

Considerando el espesor de las unidades que sobreyacen a la Fm. Las Tierras, huésped del skarn, se considera una cobertura de 2 a 3.5 km. como mínimo sobre el nivel del skarn.

El skarn se ha formado por la circulación de fluidos metasomáticos a lo largo de las juntas de estratificación y a través de diaclasas preexistentes. Se pueden reconocer las fases principales comunes a muchos skarns con scheelita:

1a. Fase de metasomatismo (600 - 500 °C). Los fluidos que pueden ser tanto de origen magmático y meteórico, ascienden por fracturas del intrusivo dando lugar a la formación de los principales minerales del skarn: granate (grosularia, uvarovita ?) y piroxeno de la serie diópsida con algo de scheelita y cuarzo. La idocrasa se forma más o menos al fin de esta etapa, durante la cual se lleva a cabo el emplazamiento de diques pegmatíticos a lo largo de diaclasas, los cuales están compuestos de cuarzo, feldespatos, micas con algo de yeso tardío y mineralizados con scheelita y sulfuros (pirita).

2a. Fase de alteración hidrosilicatada, la cual se produce por circulación de fluidos hidrotermales menos calientes (400 - 500 °C según Burnol et al 1978 y entre 200 y 400 °C según Burt y Petersen, 1974). Producen un metamorfismo retrógrado de los minerales del skarn, dando una mineralogía compuesta por actinolita, epidota (pistachita-clinozoisita), cuarzo, calcita, fluoruros (fluorita - criolita ?) y minerales de scheelita asociada a sulfuros principalmente pirita y marmatita.

Se considera que es dentro de la segunda fase cuando se realiza la alteración de la roca intrusiva produciéndose actinolita, epidota, clorita, calcita y sericita (fenómenos de saussuritización, sericitización, etc.).

La reconcentración importante de los minerales de scheelita en esta etapa

GRANATE: Pirineita

Uvarovita (?)

PIROXENO: Diópsida

EPIDOTA

VESUBIANITA

ACTINOLITA

FLUORURO

CLORITA-PENINA

CALCITA

CUARZO

APATITO

MINERALES OPACOS

SCHELITA

PARAGENESIS MINERALOGICA DEL SKARN DE LA MINA LA NORTEÑA.

es también señalada por su coexistencia con sulfuros alineados en los skarnoides y es causada al parecer por la liberación de Ca durante el reemplazamiento de los minerales ricos en Ca por los hidrosilicatos pobres en Ca.

Es en esta etapa cuando se mineralizan las corneanas que rodean el skarn, lo cual es sugerido por la morfología de la scheelita diseminada en pequeños granos y en vetillas siguiendo fracturas. En algunos yacimientos como el de Pine Creek (E.U.A.) y Salau (Francia) esta es la principal etapa de mineralización.

3a. Fase de alteración de baja temperatura. señalada por la existencia de cuarzo, calcita y minerales opacos oxidados y removilizados.

b) Area del Semigraben del Río Yaqui.

b.1) Introducción.

En el semigraben paralelo al río Yaqui se ha diferenciado una zona mineralizada, ya que las características geológicas y la mineralización encontrada en diferentes puntos, son similares.

Varias labores mineras de reducida magnitud han sido efectuadas por gambusinos en esta zona, entre ellas las minas El Perú, Los Nachos de San Pedro y la Esperanza han sido escogidas para ejemplificar estos depósitos.

b.2) Geología.

Todos los yacimientos encontrados en esta región son de tipo skarn localizados en el contacto entre rocas carbonatadas atribuibles a la Fm. Las Tierras y rocas intrusivas graníticas que presentan variaciones texturales y de composición. Estos contactos son visibles gracias a la intensa denudación que afecta a esta zona.

La zona de skarn es en la mayoría de los casos paralela a la estratificación y asemeja mantos tabulares. Esto se debe principalmente, a que la disposición de las capas, casi paralelas al contacto con la roca intrusiva, limitó a los fluidos mineralizantes a circular por la zona de permeabilidad situada en el contacto, así como por esporádicas fracturas y fallas preexistentes.

Los minerales del skarn reconocidos a muestra de mano son: granate, piroxeno, epidota y cuarzo, que producen una zona claramente distinguible de color verde a rojizo.

La mineralización se concentra principalmente en el exoskarn y consiste de scheelita y molibdenita diseminadas y otros sulfuros menos abundantes como

pirita, bornita, pirrotita y calcopirita.

A partir de las labores mineras estudiadas, es posible notar una zonificación mineral, a escala kilométrica, predominando la molibdenita en las minas situadas hacia el N del área y un incremento continuo de la cantidad de scheelita hacia el sur.

Atraviesan el skarn vetas de cuarzo-epidota, cuarzo-feldespáticas y de cuarzo, a las cuales se relaciona parte de la mineralización.

b.3) Mina Perú y Mina Esperanza.

Estas minas se sitúan a uno y otro flanco del cerro Las Agujitas y es probable que indiquen la continuidad del skarn a lo largo del mismo (Fig. 1, sección A-A'). En ambas se reconocen claramente tres zonas:

Roca encajonante: compuesta de mármoles de color blanco y gris en estratos finos a gruesos (fig. 18). En la Mina Perú se observaron estructuras que semejan restos de fusulínidos, pero debido a su recristalización y deformación no es posible determinarlos. En la Mina Esperanza se trata de un mármol arenoso, gris claro, con estratificación fina.

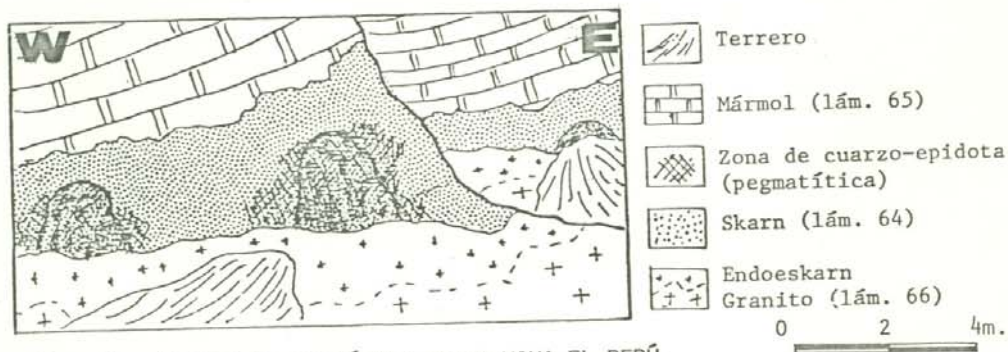


FIG. 18.- SECCION ESQUEMÁTICA DE LA MINA EL PERÚ.

Roca Intrusiva: Se trata de un granito de grano grueso, muy alterado, -- con grandes láminas de biotita y cristales de ortoclasa. Cerca del contacto -- se reconoce una zona de endoeskarn visible por contener granate en pequeña cantidad.

Microscópicamente la textura observada es xenomórfica, con la siguiente mineralogía: Feldespatos potásicos (58 %) ortoclasa y microclina en ocasiones con inclusiones de plagioclasas, además presentan alteración a arcillas; cuarzo con bordes mirmequíticos en un 20 %, oligoclasa en cristales subautomorfos

a xenomorfos (12 %); hornblenda completamente alterada con inclusiones de esfena automorfa (3 %), la cual también se encuentra en pequeñas inclusiones de la ortoclasa, biotita alterando a penina la cual se altera a su vez a arcillas; epidota (2.5 %) y como accesorio circón en diminutos cristales distribuidos al azar. Existen minerales opacos, al parecer pirita, relacionados con los ferromagnesianos. La roca se halla cortada por vetillas finas de calcita (Lám. 66).

Esta roca muestra una tendencia hacia las sienitas o hacia los granitos alcalinos (Diag. 1), lo cual se debe posiblemente, al desarrollo de grandes cristales de microclina a partir de las plagioclasas (microclinización). Estas reacciones se producen según Williams et al (1983) en las últimas etapas de diferenciación y se piensa que pueden verse favorecidas por la asimilación de la roca encajonante. Las mirmequitas observadas son también un reflejo de las últimas reacciones de postconsolidación.

Los efectos de circulación de los fluidos están bien representados, producen una alteración hidrotermal: cloritización de anfíboles y biotita, sericitización posterior y formación de epidota. En etapas más tardías vetillas de calcita cortan la roca.

Zona de Skarn: Tiene un espesor variable desde 25 cm. hasta 5 m. Pueden distinguirse zonas con bandas de minerales (skarnoide) formadas de granate, piroxeno, cuarzo, epidota, las cuales sugieren que los fluidos han seguido las juntas de estratificación y de ahí se han difundido, dando lugar a una zonificación, la cual, también se puede observar a partir de los contactos de las pegmatitas cuarzo-feldespáticas que son comunes y tienen un rumbo general NW 30°. Estas pegmatitas se encuentran mineralizadas con scheelita y parecen emplazarse a favor de fallas inversas las cuales se han reactivado posteriormente a su emplazamiento. (Foto 22).

Pueden reconocerse además, bolsas (donde se concentran minerales de un tipo y de mayor tamaño), principalmente constituidas de cuarzo, granate y piroxenos, a ambos lados de fallas de poco desplazamiento.

Microscópicamente la lámina No. 64, hecha en el skarn, está formada por granate rojizo (70 %), el cual muestra zonación; diópsida automorfa (15 %), epidota en sus variedades pistachita y clinzoisita (5 %), cristales fibrosos de actinolita (5 %) creciendo a expensas del piroxeno; wollastonita en pequeños cristales fibrosos (2 %) y calcita recristalizada dentro de los cristales de granate. Como minerales secundarios se encuentran: calcita rellenando huecos, y como alteración de los piroxenos, cuarzo en vetillas con epidota, penina como alteración del granate y en parte de la diópsida, óxidos de hierro, arcillas -

sericita como alteración del piroxeno. La textura es idioblástica.

Se trata entonces de un skarn cuyos minerales primarios y más importantes son granate (normalmente del tipo grosularia) zonado y bien cristalizado, y -- diópsida en menor proporción. Estos minerales se alteran a epidota, actinolita y clorita, que representan una alteración hidrotermal a temperaturas más bajas que la de los minerales primarios. Esta alteración produce asimismo silicificación, sericitización.

Mineralización. La mineralización consiste en estas minas de scheelita, powelita con muy poca cantidad de molibdenita. Estos tres minerales están relacionados entre sí, notándose cristales de scheelita alrededor de los de molibdenita y de powelita, lo cual indica un mismo periodo de cristalización.

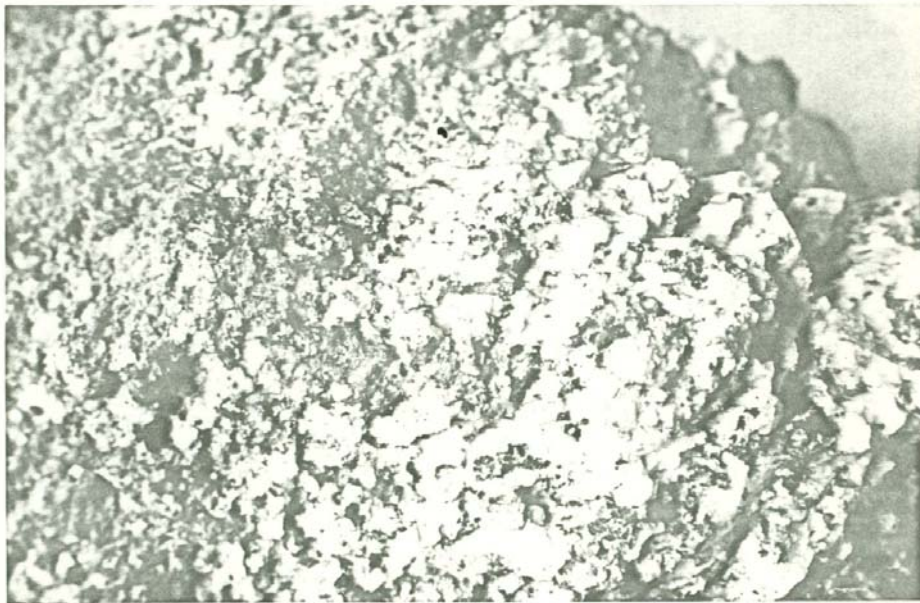


Foto 22.- Pegmatita emplazada en una falla inversa, formada por cuarzo, feldespatos, plagioclasa, biotita, anfíbol (?) y scheelita. Se encuentra muy alterada por la circulación de fluidos posterior a su emplazamiento. (Mina Esperanza).

La mineralización se encuentra diseminada en el skarnoide siguiendo bandas preferenciales de granate verde, rojo y piroxeno; también existe en abundancia en las pegmatitas y en menor cantidad dentro de vetillas de cuarzo ramificadas en el skarn y diseminada en las bolsas de cuarzo y granate en cristales de hasta 1 cm.

A través de las numerosas fracturas, se observa scheelita pelicular, formada probablemente (Burnol et al, 1978) por reprecipitación de la scheelita, - junto con algunos de sus minerales de alteración superficial (como tungstita ?) esto es visible con luz ultravioleta.

Algunas de las fallas son aprovechadas por vetas de cuarzo-epidota con -- cristales bien desarrollados con un tamaño variable de .5 a 2 cm. y vetas de cuarzo exclusivamente, que cortan a las anteriores. La anchura de las vetas es en promedio de 15 cm.

b.4) Mina Los Nachos de San Pedro.

Esta mina queda localizada entre los cerros las Agujitas y el Chiquelito en el arroyo las Agujitas.

El skarn, más o menos paralelo a la estratificación (echado 8° - 32° NE), queda comprendido en una estructura de cuña, la cual corresponde al parecer a un sinclinal recostado hacia el SW, como se muestra en la Fig. 19.

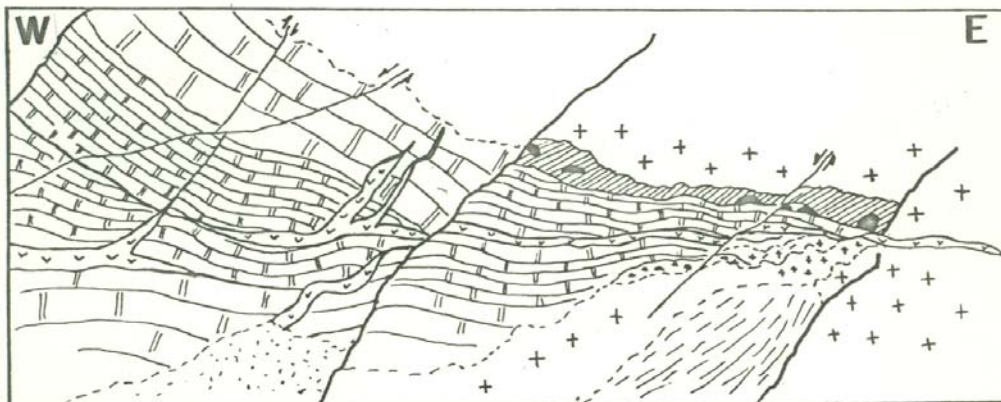
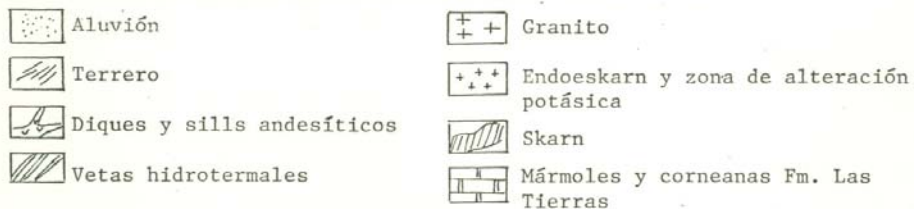


FIG. 19.- SECCION ESQUEMATICA: MINA LOS NACHOS (RUMBO NW 70°)



0 10 20 m.

Esta cuña quedó inmersa en el granito, ya que éste aprovechó para su emplazamiento estructuras anticlinales o zonas de debilidad. Estas evidencias implican fuertes presiones reinantes durante el emplazamiento del granito.

Relacionados a este periodo intrusivo se encuentran asociados diques andesíticos emplazados a lo largo de fallas inversas (?) de bajo ángulo, cortadas por fallas inversas y normales con echados que varían entre 45° y 50° al SW.

Por último diques pegmatíticos y vetas de cuarzo con sulfuros cortan todo el conjunto antes descrito.

La roca encajonante está constituida por un mármol gris con bandas de color verde, donde se pueden apreciar micropliegues, así como corneanas verdes de grano fino. Al microscopio se observa (Lám. No. 21) un mármol de epidota de grano medio, con una textura granoblástica. Los constituyentes metamórficos accesorios son: epidota (15%) cristalizando alrededor de los minerales opacos, cordierita alterándose a sericita (2%), actinolita (2%) alterada a arcillas y muscovita en diminutas laminillas (2%) asociada a la sericita.

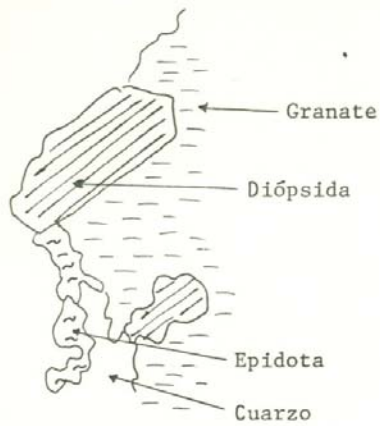
Esta roca se ha formado por metamorfismo térmico con formación de cordierita y posteriormente de actinolita y epidota. La alteración de baja temperatura es principalmente sericitización.

Otra muestra (Lám. No. 20) enseña una roca formada por calcita (70%) microcristalina con algunos cristales mayores, los cuales muestran leve deformación en sus maclas, porfidoblastos de clorita fibrosa (15%) en pequeños nódulos o agregados, formándose al parecer de la actinolita cuyos vestigios permanecen en el centro (Fig. 20 D), clinozoisita (2%) alterándose a arcillas y calcita. Como accesorios apatito y esfena, el primero idioblástico y el segundo en granos irregulares menores al 2%. Existen al menos tres tipos de opacos, el principal es la pirita acompañada por calcopirita.

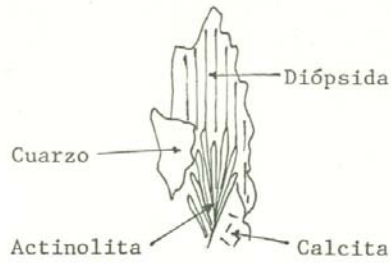
Al parecer esta roca ha sufrido una alteración hidrotermal muy fuerte representada por la destrucción casi completa de los minerales primarios de metamorfismo y de la recristalización de la calcita; además los minerales constituyentes como la clorita, son típicos de esta etapa.

La roca intrusiva muestra una clara variación mineralógica y textural en poca distancia. De la roca sana granítica hacia el skarn se pueden reconocer: una granodiorita de grano grueso con desarrollo de los ferromagnesianos (biotita y hornblenda); una granodiorita de grano más fino (Lám. No. 15); una zona clara de grano fino (endoskarn) que está en contacto con el exoskarn (Lám. No. 17); entre estos dos últimos se encuentra una zona con alteración potásica (Lám. No. 16)

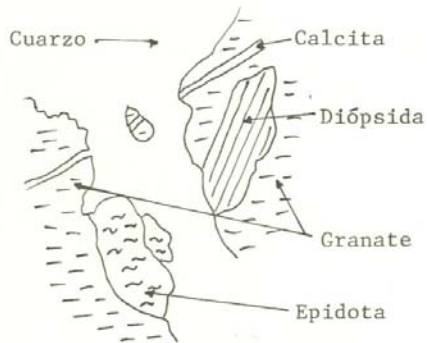
La granodiorita está constituida por plagioclasas (36%); cuarzo y feldes-



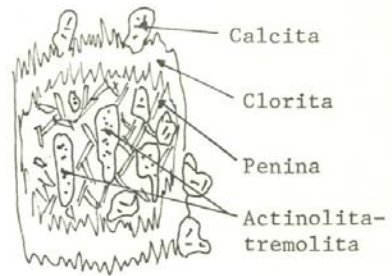
LAMINA 66 A (X 40)



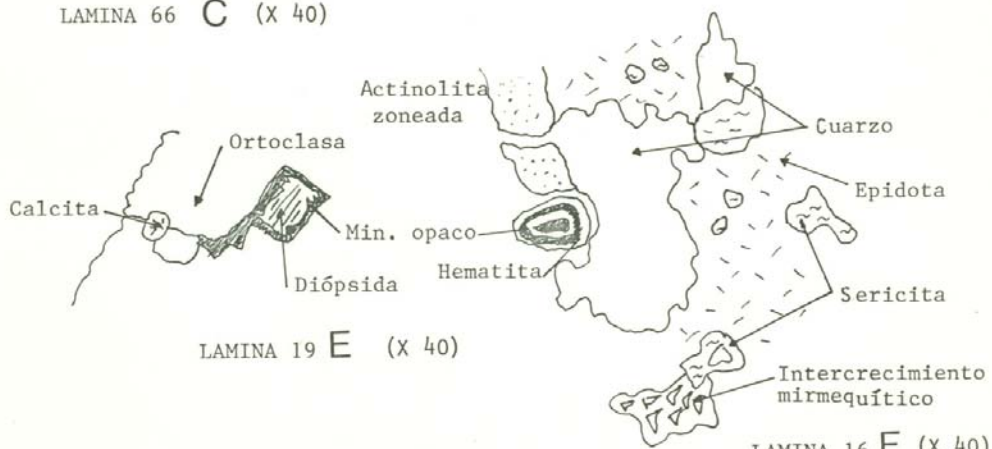
LAMINA 66 B (X 40)



LAMINA 66 C (X 40)



LAMINA 20 D (X 40)



LAMINA 19 E (X 40)

LAMINA 16 F (X 40)

FIGURA 20.-

pato en la misma proporción (18 %), el primero anhedral con inclusiones de feldespato, a veces con extinción ondulante y sobrecrecimiento en los bordes, así como en intercrecimiento mirmequítico con la ortoclasa, la cual presenta algunos cristales bien conservados y otros completamente alterados a sericita y clorita, microclina con inclusiones de plagioclasa y ortoclasa; hornblenda (9 %) en cristales automorfos maclados con inclusiones de cuarzo y feldespato, biotita (11 %) con inclusiones de circón alterándose a clorita y como accesorios esfena en grandes cristales anhedrales, circón y minerales opacos bien cristalizados, además de epidota en cristales y rellenando fracturas junto al cuarzo.

La mineralogía indica que se trata de una granodiorita (Diag. 1) con alto contenido de cuarzo. Las inclusiones de cuarzo, feldespato y plagioclasa, el intercrecimiento mirmequítico, así como la cloritización, reflejan cambios en la estabilidad de los minerales producidos por fluidos que circulan por los contactos intrusivo-roca encajonante.

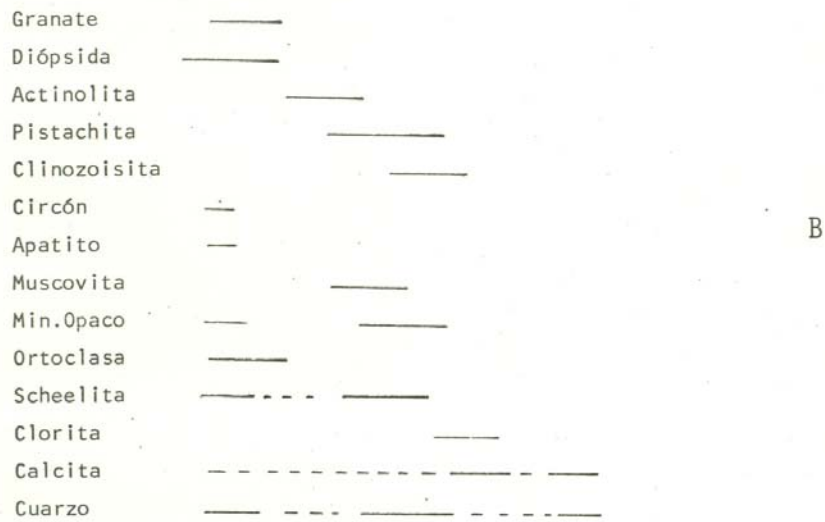
En la lámina No. 16 se observa que la roca ha sufrido una fuerte alteración potásica. Es una roca ígnea de grano medio con porcentajes difíciles de precisar, formada por ortoclasa-microclina y cuarzo con algunas huellas de plagioclasa; existen actinolita y clinzoisita, al parecer formándose a partir de la plagioclasa. Como accesorios circón y apatito automorfos. La primera alteración está representada por silicificación y feldespatización con la destrucción de las plagioclasas, cloritización en forma de cristales xenomorfos de clorita no muy abundantes, alteración de los feldespatos y plagioclasas a epidota-clorita-calcita-sericita (saussuritización), por último una introducción de calcita-epidota y cuarzo-epidota en forma de vetillas. Todo esto refleja nuevamente una marcada circulación de fluidos.

Finalmente, en la muestra No. 19 se distingue una alteración potásica muy marcada dando a la roca una coloración rosa, microscópicamente está formada por ortoclasa en un 85 %, con inclusiones de apatito y de granate, rodeados por cristales de muscovita. Plagioclasa en pequeños cristales (albita) no abundantes. Existen zonas rellenas de cuarzo con clorita y circón, formas relictas de anfíbol y biotita reemplazados en su mayor parte por minerales opacos, cuarzo, calcita y clorita. La roca se encuentra cortada por delgadas vetillas de cuarzo-muscovita a veces con calcita. Los minerales opacos indican que los sulfuros en esta lámina vienen con la alteración hidrotermal.

Zona de skarn. En esta zona sólo pudo realizarse una lámina delgada, la No. 17, que corresponde a una banda metasomática constituida de piroxeno diópsida en un 90 %, con algo de epidota y cuarzo. Es una roca de color verde claro, con textura decusada-granoblástica.



A



B

A SECUENCIA PARAGENETICA MINERALOGICA DEL SKARN DE LA MINA PERU.

B SECUENCIA PARAGENETICA MINERALOGICA DEL SKARN (ENDOSKARN Y EXOSKARN) DE LA MINA LOS NACHOS DE SAN PEDRO.

b.5) Mina de Molibdeno.

Está localizada en el puerto del C. Peyote y C. La Chiva sobre el arroyo la Hoya.

La roca intrusiva no aflora en los alrededores de la mina.

La roca encajonante es un mármol gris perteneciente a la Fm. Las Tierras.

El skarn sigue la estratificación de la roca encajonante la cual tiene un rumbo de 30° NW y echado de 76° NE, es decir que el skarn en esta zona se aproxima a la vertical.

Está compuesto por granate principalmente, piroxeno, wollastonita, epidota cuarzo y sulfuros (FeS_2 y MoS_2).

La molibdenita a muestra de mano se encuentra asociada al granate y al cuarzo, en menor proporción con el piroxeno. Se encuentra en laminillas hexagonales y en granos irregulares, en ocasiones agrupados o concentrados dando lugar a bolsas de molibdenita de hasta 5 cm. de diámetro.

En exámen de luz ultravioleta los cristales de molibdenita están rodeados por powelita, acompañados por escasos cristales de scheelita pura.

Diques de andesita cortan el skarn, que a su vez son cortados por fallamiento normal.

b.6) Conclusiones.

Rocas intrusivas.- Afloran en el semigraben rocas de composición diorítica en volumen importante que parecen ser asimiladas en parte por el granito y varían de hornblenditas a meta-andesinitas. En algunos yacimientos importantes de skarn con scheelita como el de Pine Creek (California), en Salau (Francia) y más cercanamente en el Fenómeno (Baja California) y el Jaralito (Sonora), afloran este tipo de rocas, aunque en ninguna se les relaciona genéticamente con la mineralización.

En las zonas más lejanas del contacto se encuentran granitos (sentido estricto) de grano medio. Existen rocas con composición modal granítica como en el contacto de la Mina Perú, donde el granito tiene una tendencia alcalina lo cual puede deberse a feldespatización de las plagioclasas por alteración causada por los fluidos magmáticos. En el contacto mismo se han encontrado más comúnmente una composición granodiorítica hasta tonalita con mucho cuarzo, estas variaciones se explican como una asimilación de las rocas encajonantes calcáreas (Williams et al, 1983). La asimilación es evidente ya que las rocas intrusivas están en contacto con diferentes niveles de la Fm. Las Tierras y existen zonas que señalan una condición más o menos fluida de las rocas graníticas

como en la mina Los Nachos de San Pedro.

Los yacimientos de esta zona, se sitúan morfológicamente en el flanco de un plutón granítico que desciende hacia el oeste, posición distinta a la de la mina La Norteña, situada en la parte apical del mismo. La composición de las rocas intrusivas es cuarzo-ortoclasa (microclina)- oligoclasa-andesina-biotita-hornblenda, éstas últimas en mayor proporción en las rocas graníticas y tonalíticas.

A pesar del plegamiento de las capas, los contactos entre el intrusivo y la roca encajonante en la mayor parte de las minas de esta zona, es subparalelo a la estratificación y por lo tanto el desarrollo del skarn es limitado a algunos metros partiendo del contacto, con excepción de la mina de Molibdeno donde los echados son casi verticales y el intrusivo no aflora.

Mineralización.- Existe una variación en la mineralización de W y Mo en los yacimientos de skarn de esta zona, siendo la scheelita dominante en la parte sur con poca cantidad de molibdenita, invirtiéndose los porcentajes hacia la parte norte.

La única diferencia en el campo es la estructura de los yacimientos. Algunos autores (Fontailles et al, 1969), Newberry (1982), señalan que la fase de alteración hidrosilicatada es en donde vienen los sulfuros principalmente, mientras que la scheelita es solo removilizada o viene en poca cantidad en esta fase. Entonces se podría suponer una primera fase pobre en scheelita para la mina de Molibdeno y un enriquecimiento de molibdenita en la segunda fase, debido tal vez a un aporte mayor de azufre en los fluidos a menor temperatura.

Newberry (1982) señala asimismo que la diferencia en el tipo de la roca encajonante puede determinar la mena depositada e indica que en las rocas subcálcicas (con granate y piroxeno pobres en Ca) la scheelita no se deposita en cantidad apreciable.

La roca en ambos casos se trata de un mármol con más del 80 % de calcita, con algunos minerales de metamorfismo y/o metasomatismo como diópsida, tremolita-actinolita y cordierita. La temperatura según se discutió antes, para el equilibrio de estos minerales es de alrededor de 500° C.

En el skarn se reconocen las fases siguientes :

Fase de minerales primarios en el skarn, principalmente el granate grosularia, con algo de piroxeno diópsida-hedenbergita y cuarzo. Esta fase no está muy desarrollada debido a la posición estructural en los contactos.

Fase de alteración, representada por epidota, con actinolita, clorita, calcita, cuarzo y mineralización de sulfuros (molibdenita, pirita, calcopirita)

y scheelita formándose en cristales de hasta 1 cm. alrededor de escamas de molibdenita (mina Esperanza). En la mina de Molibdeno se encuentra powelita rodeando los cristales de molibdenita. En los dos casos la roca portadora está formada principalmente por granate rojo y cuarzo con diópsida subordinada (la composición exacta de los granates no es conocida).

En la interfase entre el intrusivo y el skarn, se forman en ocasiones, rocas de alteración (endoskarn, mina Los Nachos de San Pedro), constituidos por ortoclasa, muscovita, apatito, circón y mineralizados con sulfuros. También en esta etapa se produce la alteración de las rocas graníticas representada por cloritización, sericitización y saussuritización.

La última fase hidrotermal, está representada por vetillas de calcita - cortadas por vetillas de cuarzo - epidota.

Hay diques graníticos que atraviesan el skarn, los cuales se han emplazado a lo largo de fallas inversas que se han reactivado posteriormente a su emplazamiento. Los diques formados entre la primera y segunda fase, se hallan muy alterados por las soluciones posteriores, tienen una mineralogía de plagioclasa, biotita y se encuentran mineralizados con más del 5 % de scheelita pura, lo cual indica la relación de la scheelita con la fase neumatolítica y su transporte en rocas graníticas.

c) Mina Patricia.

Localización. Se localiza en el extremo oriental de la sierra El Batamote. Es característica de un conjunto de pequeñas minas alineadas aproximadamente NW 30° SE, dos labores reducidas en los cerros la Anaconda y los Toneles y otra serie en el norte, cortando transversalmente a la sierra El Batamote.

Geología. Se sitúa muy cerca del contacto del miembro Toneles con el granito. En esta zona los echados de la estratificación varían de 50° a 70° NE y con rumbos entre 13° - 20° NW.

El granito corta transversalmente las capas como puede observarse en el arroyo Chubisco o sobre la carretera a la altura del cerro la Anaconda.

Las corneanas calcosilicatadas del miembro Toneles presentan una roca encajonante adecuada para el desarrollo de granatitas con cristales de hasta 3 cm. de diámetro, generalmente en bolsas, con wollastonita, sulfuros e incluso scheelita.

Los fluidos aprovechan así mismo fallas, fracturas y diaclasas para su circulación y se concentran en capas preferenciales. La existencia de estas

capas selectivas puede explicar el alineamiento de la mineralización .

La mina Patricia abandonada actualmente, consta de dos socavones. La roca aflorante en superficie es skarn con bolsas de granate y cuarzo con inclusiones de turmalina (?). Alteraciones con óxidos de cobre y fierro. Afloran hacia el este areniscas de color blanco que intemperizan a anaranjado por las numerosas vetillas con óxidos de fierro, al parecer son estériles.

Las capas tienen un rumbo de 13° NW y echado de 53° NE la fracturación principal es de rumbo NW 35° y echado 23° NE.

Roca Encajonante. A muestra de mano se trata de corneanas calcosilicatadas de grano muy fino y de color claro. Microscópicamente la lámina No. 62, muestra una corneana rica en cuarzo microcristalino, con porfidoblastos de diópsida (35 %) y tremolita fibrosa (3 %) alterándose a arcillas; pequeña cantidad de plagioclasas y ortoclasa (8 % en total). La roca original podría ser una limolita cuyo porcentaje detrítico está representado por cuarzo muy fino que indica retrabajamiento, por lo cual se supone que los feldspatos son producto metamórfico o metasomático. El piroxeno y el anfíbol, ambos con calcio y magnesio, sugieren la existencia primaria de calcita y/o dolomita, las cuales han reaccionado completamente para producir estos minerales.

Roca Intrusiva. En el área de la mina no se observa el contacto con la roca intrusiva, pero 200 m. más abajo aflora el granito (Lám. No. 37) intrusionado por una granodiorita (Lám. No. 35), estas rocas fueron descritas en la parte correspondiente a rocas plutónicas.

Zona de Skarn. El skarn parece formarse por circulación de fluidos principalmente a lo largo de la estratificación, produciendo bandas características de granate bien cristalizado, diópsida y calcita. En muestra de mano se observan sulfuros como bornita, pirita y calcopirita. Además de mineralización de scheelita.

Microscópicamente en las láminas 59 y 63, se observa que el mineral más abundante es el granate, en cristales idio-subidioblásticos, también como agregados masivos conteniendo cristales de diópsida, anfíbol, calcita, cuarzo y epidota. La diópsida presente se está alterando a calcita y arcillas; existen abundantes minerales opacos (pirita, calcopirita); penina en cristales tabulares en ocasiones acompañando a los opacos y como producto de alteración; cordierita escasa alterándose a sericita, cuarzo con contornos poligonales también microcristalino y secundario. En la lámina No. 63, la calcita aparece como mineral primario y una pequeña cantidad de epidota y feldespato potásico (Fig. 21).

Por la mineralogía presente, podemos observar que el skarn se ha formado -

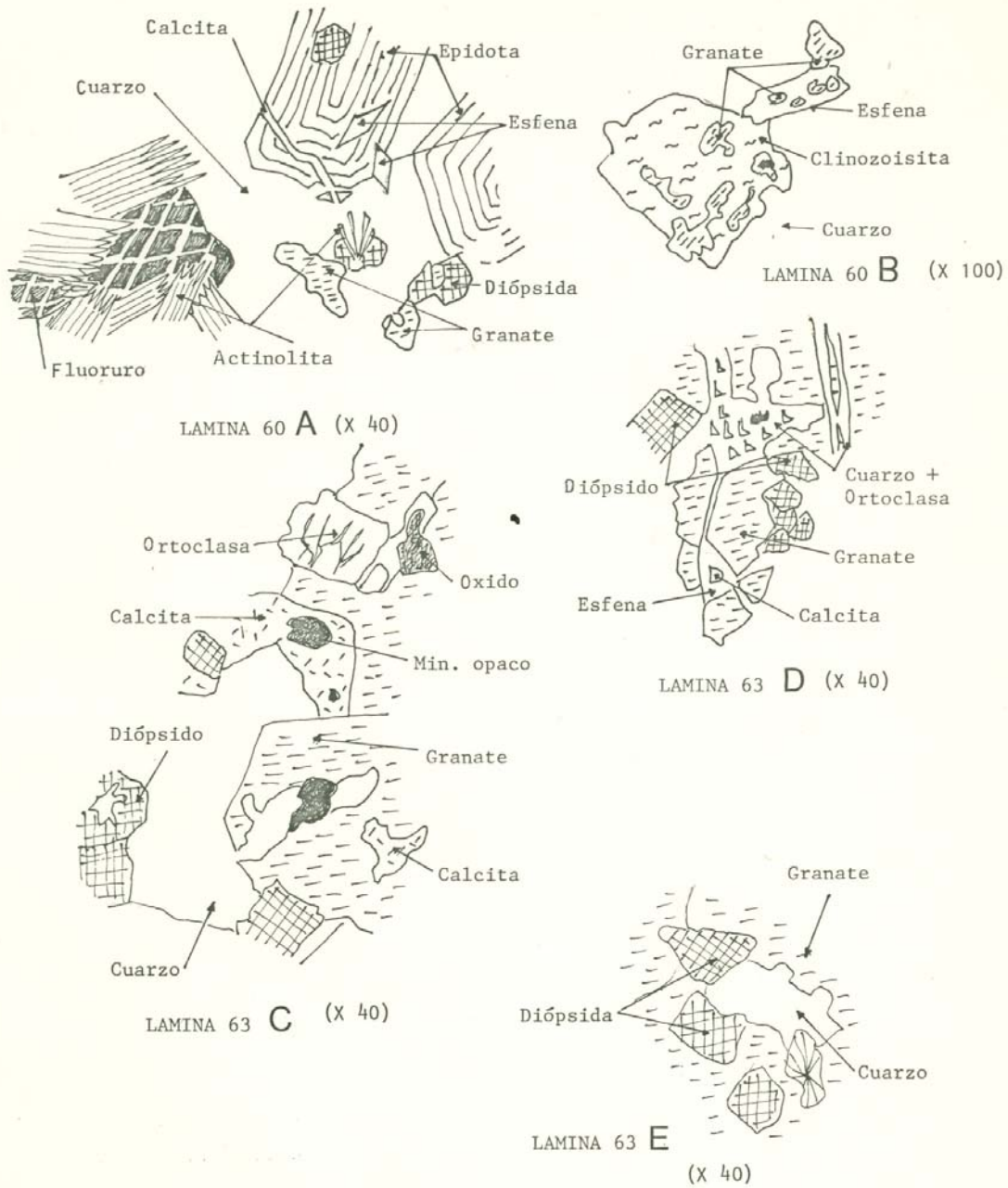


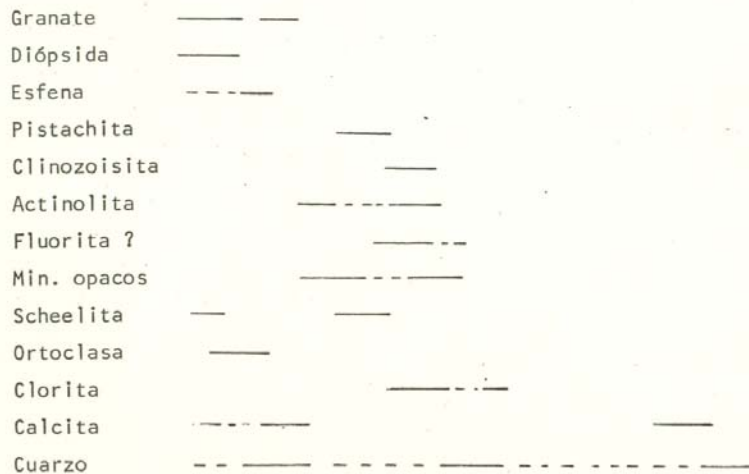
FIGURA 21.- RELACIONES MINERALOGICAS DEL SKARN DE LA MINA PATRICIA.

en las zonas donde las corneanas contienen mayor porcentaje de calcita.

En el skarn de esta mina, existen también zonas de cuarzo-epidota posteriores a éste, su mineralogía se aprecia en la lámina No. 60 (Fig. 21). Consiste de epidota (60 %) en grandes cristales zonados, que le dan una coloración verde limón a la roca y una textura granular. Cuarzo con extinción ondulante en cristales xenoblásticos que envuelven cristales irregulares de granate pardo, diópsida y esfena bien cristalizada. Los piroxenos se están alterando en gran parte a actinolita. Existe poca cantidad de fluoruro (fluorita) relacionada con la actinolita. Alteraciones posteriores son representadas por cloritización y vetillas de calcita y cuarzo.

Paragénesis. En esta zona el skarn tiene como minerales primarios granate y diópsida de grano fino, en bandas alternantes. Muestran una fase neumatolítica formada por cuarzo y feldespato potásico (en ocasiones mirmequíticos) y esfena, esta fase provoca la cristalización del granate que al crecer envuelve a los cristales de piroxeno, mientras que las zonas donde esta fase no afecta, la cristalización de grosularia y diópsida parece simultánea (Fig. 21 C y D). Después de esta fase los fluidos a más baja temperatura, producen una alteración retrógrada, muy bien desarrollada en la lám. No. 60, dando lugar a rocas constituidas principalmente de epidota ferrífera más cuarzo, que señalan una fugacidad de oxígeno grande en esta etapa (Shimazaki, 1981). Otros minerales comunes de alteración o introducción hidrotermal, formados en esta etapa son: actinolita a partir del piroxeno, fluoruro (fluorita), calcita, sulfuros (pirita calcopirita) y clorita.

SECUENCIA PARAGENETICA MINERAL DEL SKARN DE LA MINA PATRICIA.



Por último vetillas de calcita y cuarzo atraviesan la roca y reflejan los últimos cambios en ella.

En la lámina 60, formada casi completamente en el segundo estadio, se encuentran pequeños remanentes de los minerales primarios (granate y diópsida) inmersos en el cuarzo, el cual presenta extinción ondulante. La esfena muy bien cristalizada en esta roca se considera como primaria relacionada al granate -- (Fig. 21 B).

d) Mina San Esteban.

Se localiza a 1 km. al NW del Torreoncito, según la carta INEGI "Bacanora" esta mina fué explotada por plata. Actualmente se encuentra abandonada. Consta de algunos socavones y un tiro.

Se observan dos tipos de roca en esta zona, una completamente alterada, deleznable, de color gris-rojizo, semejantes a capotes de oxidación producidos -- por una fuerte lixiviación. Se encuentra como remanente de erosión sobre un -- mármol de color gris claro con abundancia de sulfuros (pirita, calcopirita) diseminados. Los terreros de la mina están formados por esta roca.

La lámina delgada No. 72, muestra un mármol muy puro (80 % de calcita), acompañada por clorita (12 %) fibrosa y radial, epidota como accesorio en un 2 % y gran cantidad de minerales opacos (pirita, calcopirita y galena).

Es evidente que la clorita, epidota y minerales opacos están relacionados y son introducidos por fluidos hidrotermales posteriormente al termometamorfismo que afectó a la caliza. Vetillas de calcita reflejan efectos de las últimas circulaciones.

La lámina No. 43 es una roca producto de reemplazamiento hidrotermal, formada por cuarzo (30 %) xenoblástico, con extinción ondulante y bordes de crecimiento envolviendo a pequeños cristales de epidota, la cual está presente en un 30 % en sus variedades pistachita y clinozoisita, contiene inclusiones de granate; la clorita 15 % en cristales tabulares y rellenando espacios se encuentra alrededor de minerales opacos (10 %) al igual que la epidota. Plagioclasa y ortoclasa (3 %) en cristales pequeños. Como accesorios esfena, apatito y circón en un porcentaje menor al 1 %.

La misma paragénesis hidrotermal de epidota y clorita, sílice y sulfuros -- está presente en esta lámina, lo cual sugiere, aunado a las observaciones de -- campo, que este yacimiento se formó por reemplazamiento hidrotermal acentuado -- por un enriquecimiento supergénico producto de infiltración de aguas meteóricas en la roca que cubre los mármoles y que posiblemente fué una roca volcánica.