

# ESTUDIO MINEROGENETICO DEL FILON URANIFERO SAN CELESTINO (California, Santander)

Por

P. F. PAGNACCO \*

**RESUMEN.**—El presente trabajo trata de la minerogénesis de un filón brechado que se halla dentro de un pórfido ácido y mineralizado por blenda y tetraedrita. Además de estos minerales se encuentran en el filón pequeñas cantidades de pirita, galena y sulfuros de cobre. Oro y plata son los minerales que permiten el desarrollo de una pequeña actividad minera local. El primero de estos minerales se halla diseminado en el cuarzo; el segundo se encuentra en la tetraedrita. También el uranio se halla como diseminación en el cuarzo, en pequeñas cantidades. La tectonización del filón es posterior a la mineralización, que primeramente tenía que ser casi masiva. El yacimiento es de tipo subvolcánico.

**ABSTRACT.**—The present work deals with the minerogenesis of a brecciated vein-like ore-body included in an acid porphyry rock, which has been mineralized with sphalerite and tetrahedrite. Moreover, few plrite, galena and copper sulfides are present in the ore-body. The life of the little mining industry which works on the vein depends on small quantities of gold and silver. The former is very finely disseminated in the quartz; the latter is chiefly brought by the tetrahedrite. Some uranium is also present as finde dissemination in the quartz. The brecciation of the vein is posterior to the mineralization, which should have been nearly massive. The deposit is of subvolcanic type.

**RIASSUNTO.**—Il presente lavoro tratta della minerogenesi di un filone brecciato incassato in un porfido acido e mineralizzato a blenda e tetraedrite. Oltre a questi minerali si trovano nel filone anche piccoli quantitativi di pirite, galena e solfuri di rame. Oro e argento sono i minerali che dànno vita alla piccola industria mineraria che sfrutta il filone. Il primo è finissimamente disseminato nel quarzo; il secondo è contenuto principalmente nella tetraedrite. Pure

---

\* Servicio Geológico Nacional, Bogotá.  
Departamento de Geología, Univ. Nal. Colombia.

disseminato nel quarzo si trova l'uranio, in piccola quantità. La brecciatura del filone è posteriore alla mineralizzazione, che doveva essere pressochè massiccia. Il giacimento è di tipo subvulcanico.

RESUME.—La présente étude a pour objet la minérogenèse d'un filon brechié et minéralisé à blende et tetraedrite. Ce filon est situé dans un porphyr acid. En plus se trouvent dans le filon des petites quantités de pirite, galène et sulfures de cuivre. Or et argent sont les minerais qui donnent vie à la petite industrie minière qui exploite le filon. Le premier est très finement disséminé dans le quartz; le second se trouve principalement dans la tetraedrite. Dans le filon se trouve aussi de l'uranium finement disséminé dans le quartz. La cataclase du filon est postérieure à la minéralization, qui devait être presque massive. La gisement est du type subvulcanic.

## INTRODUCCION

El presente trabajo no pretende ser un estudio geológico-minero completo de la zona mineralizada de California, sino, sencillamente, un estudio minerogenético del filón San Celestino, uno de los más importantes del área.

En este estudio se tratará solamente de la mineralización, de su origen y de los fenómenos que la acompañaron.

Me pareció útil ejecutar este trabajo, siendo la zona minera de California muy importante no solamente en la economía de la región, sino también, probablemente en un futuro muy cercano, de todo el país. Un conocimiento exacto del origen y de la historia de los yacimientos de esta región, es sin duda alguna, el primer paso, y el más importante, hacia la mejor comprensión de las particularidades de los yacimientos mismos, en vista de su explotación.

Si, siguiendo este ejemplo, se ejecutan trabajos parecidos sobre los otros filones de la zona, y un estudio geológico y tectónico de detalle de toda la región mineralizada de California, se podrá adelantar mucho la racional explotación de las minas que ya existen, y la búsqueda de nuevos recursos.

Para la ejecución de este trabajo, se efectuó un corto reconocimiento sobre el terreno, y una visita a la mina de San Celestino.

Todos los estudios de laboratorio de las muestras tomadas durante esta visita fueron efectuados en el Servicio Geológico Nacional de Bogotá.

## SITUACION GEOGRAFICA

El pueblo de California está situado en el Departamento de Santander, unos setenta kilómetros, más o menos, al Noreste de la ciudad de Bucaramanga, cabecera del Departamento. California está unida a Bucaramanga por una carretera en buenas condiciones, aunque no asfaltada.

La mina de San Celestino se encuentra a unos cinco kilómetros más o menos, al Noreste de California, en la pendiente septentrional del valle del río "La Baja", del cual toda la región minera toma el nombre.

Cerca del filón San Celestino se encuentra otro filón, llamado Pié de Gallo y, unos kilómetros más arriba, siguiendo el lecho del río, en la otra pendiente del valle se encuentran los otros filones, Las Animas y San Cristóbal.

Todos estos filones se hallan en la proximidad del lecho del río La Baja, y fueron descubiertos en el siglo XVI, probablemente por la facilidad de acceso. Lo cual quiere decir que probablemente existen otros filones en zonas menos accesibles o no aflorantes.

La mina de San Celestino está unida al pueblo de California por una pequeña carretera que, siguiendo el fondo del valle, llega hasta la mina. A las otras minas, situadas más arriba, se puede llegar a caballo, por caminos de herradura.

## TRABAJOS ANTERIORES

La zona minera de California ha sido objeto de numerosos estudios hechos por geólogos colombianos y extranjeros.

En el año 1953 E. HUBACH acompañó a un grupo de geólogos de la Comisión para la Energía Atómica de los Estados Unidos, con el fin de examinar las posibilidades económicas de los yacimientos de California, como productores de uranio. Esta Comisión encontró uranio en los yacimientos, pero en cantidad mas bien escasa.

R. WOKITTEL, en el año 1954, hizo un estudio minero de toda la región.

En el año 1953, y luego en el año 1955, J. A. BUENO estudió los yacimientos de la región La Baja, y publicó los resultados de sus estudios en el Boletín del Instituto Geológico Nacional, Vol. III N° 3, de Diciembre de 1955.

En este estudio J. A. BUENO describe los yacimientos de San Celestino, Pié de Gallo, Las Animas, San Cristóbal y Francia (este último se encuentra en el valle del río Vetás, confluente en la margen

izquierda del río La Baja), e interpreta el origen de estos yacimientos por soluciones hidrotermales de baja temperatura (meso-epitermales).

Las muestras colectadas por J. A. BUENO fueron estudiadas en el laboratorio por H. W. NELSON, y por la Comisión para la Energía Atómica de los Estados Unidos. Muchos análisis fueron ejecutados sobre estas muestras, con el fin de establecer su contenido en uranio, oro, plata, zinc, plomo y cobre.

A este trabajo, completo desde el punto de vista de la ingeniería minera, falta un estudio tectónico y geológico regional, y un estudio minerogenético y paragenético.

Estando el trabajo de J. A. BUENO muy adelantado, me pareció útil tratar de completarlo, por lo que se refiere al filón San Celestino.

Si se ejecutan otros trabajos minerogenéticos sobre los otros filones de la región, estando el estudio geológico y tectónico ya programado en las actividades del Servicio Geológico Nacional para el año 1962, la región minera de La Baja podrá considerarse suficientemente estudiada, lo cual será de grandes ventajas para las industrias mineras locales.

## EL FILON SAN CELESTINO

El filón San Celestino se encuentra encajado en una roca porfídica, que se extiende en gran parte de la zona mineralizada de La Baja.

Es esta roca un pórfido muy ácido, de color claro, muy alterado, con grandes fenocristales de cuarzo y de feldespato. La masa fundamental es de difícil determinación: se trata de material devitrificado. Muy probablemente esta masa tiene, en su complejo, composición parecida a la de los fenocristales (según H. W. NELSON).

El filón San Celestino se encuentra en una zona fallada y brechada. Tiene dirección aproximadamente N 75° W, y buzamiento aproximadamente de 45° al Norte. El espesor del filón es alrededor de dos metros. Las salbandas no son siempre bien marcadas. La roca, en muchos lugares alrededor del filón, es mineralizada y, siempre, fuertemente alterada por las soluciones hidrotermales.

La textura del filón es brechada. Los fragmentos de roca y de mineral fueron cementados por soluciones de temperatura baja, que han depositado en los intersticios de la brecha, minerales transparentes y pirita coloidal.

En las salbandas del filón, la roca no es muy compacta, debido a la fuerte alteración causada por las soluciones hidrotermales que la

han invadido, y a la presencia de muchas pequeñas fracturas, probablemente originadas por los mismos fenómenos tectónicos que han causado la formación de la falla mayor.

En la actualidad la explotación es efectuada por medio de una galería que, siguiendo el filón, entra en la montaña una quincena de metros.

Existen trabajos más antiguos en un nivel más bajo, pero están totalmente derrumbados, de manera que es imposible el acceso. J. A. BUENO afirma en su estudio que en este nivel inferior el filón tiene dirección aproximadamente Noroeste-Sureste y buzamiento al Noroeste.

Los minerales metálicos que se encuentran en este filón son principalmente blenda y tetraedrita. Otros minerales presentes, pero en cantidad más escasa son galena, pirita y sulfuros de cobre (enargita y covelita).

Pero la vida de la mina está ligada a la extracción de la plata, del oro y del uranio. La plata está contenida principalmente en la tetraedrita. Oro y uranio están finamente diseminados en el cuarzo. No fue posible reconocerlos en las secciones pulidas.

En un análisis de varias muestras mezcladas de manera tal de formar una mezcla más o menos representativa de los "tout-venant" de la mina, J. A. BUENO encontró los siguientes contenidos: Oro 43.37 gramos por tonelada; plata 1159.37 gramos por tonelada.

El uranio se halla en cantidad variable. De los análisis efectuados sobre varias muestras en los laboratorios de la Comisión para la Energía Atómica de los Estados Unidos, salieron los siguientes porcentajes de  $U_3O_8$ :

|                          |            |              |
|--------------------------|------------|--------------|
| Máximo:                  | 1.20 quim. |              |
| Mínimo:                  | 0.002 "    |              |
| Medio sobre 12 muestras: | 0.392 "    | 0.434 equiv. |

## LA MINERALIZACION

Para el estudio de la mineralización fueron colectadas unas cuantas muestras representativas, bien en el interior de los túneles, ya en las afueras. Fueron también estudiadas, desde el punto de vista mineralogénico, algunas de las muestras colectadas por J. A. BUENO.

El mineral metálico más abundante en el filón San Celestino es la Blenda ( $ZnS$ ). Este sulfuro está difundido por todo el filón, y constituye muchos de los fragmentos de la brecha. Con frecuencia se encuentra también en la roca encajante, a los bordes del filón, en donde la mineralización es masiva. La blenda tiene con frecuencia

estructura de cocarda \*, lo cual permite visualizar el hecho de que la brechadura fue posterior a la mineralización de la blenda. En realidad las estructuras internas de este sulfuro son frecuentemente cortadas por los bordes del fragmento. El contenido en hierro de la blenda es, por lo general, alto. La blenda ha sido objeto de fuertes reemplazamientos por parte de otros minerales como piritita II y cuarzo.

En forma parecida se encuentra la tetraedrita  $3(\text{Ag,Cu})\text{S}(\text{As,Sb})\text{S}_3$  la cual es mucho menos frecuente que la precedente. A veces, blenda y tetraedrita, constituyen fragmentos diferentes en la brecha, a veces, están íntimamente asociadas en el mismo fragmento, de manera que hacen pensar en una desmezcla.

La piritita ( $\text{FeS}_2$ ) se halla en el filón San Celestino en dos generaciones. La primera es cristalina e idiomorfa. Los cristales de este tipo de piritita, que será llamada piritita I, son pequeños y se han depositado antes que todos los otros minerales metálicos. En realidad, se encuentran, sea difundidos en la roca alrededor del filón, ya sea en la brecha, y también como inclusión en los otros minerales metálicos. La brechadura tuvo un pequeño efecto en los cristales de piritita que, por su dureza y sus pequeñas dimensiones, solamente fueron fracturados ligeramente. Algunos de estos cristales de piritita fueron disueltos en los bordes por el cuarzo de formación posterior y por la blenda, pero sólo ligeramente.

La segunda generación de piritita, o piritita II, es muy diferente. Se halla en pequeñas masas, de forma irregularmente redondeada, o en pequeñas venas en las fisuras. A veces constituye una muy fina impregnación de la roca. Está diseminada muy irregularmente en el filón, y se encuentra con más frecuencia en los intersticios entre los fragmentos metálicos y el cemento de la brecha, o bien en el interior de los otros sulfuros, donde se depositó por reemplazamiento. La temperatura de las soluciones que han depositado esta piritita tenía que ser muy baja, porque, debido a su forma, es muy probable que este mineral se haya depositado en el estado coloidal.

Algo de marcasita acompaña a veces la piritita II.

La galena ( $\text{PbS}$ ) no es tan frecuente como los otros minerales metálicos, y está distribuida muy irregularmente. En algunas secciones está completamente ausente. Se halla con más frecuencia como inclusión en la blenda, pero se puede también encontrar en grandes cristales en el interior del filón, y también en las salbandas. Es-

\* Llámase estructura de cocarda la estructura de un mineral que se encuentra en bandas concéntricas alrededor de uno o varios núcleos de otro mineral. Es una estructura de reemplazamiento en la cual el "paleosoma" (mineral reemplazado) está representado por el o los núcleos, mientras que el "neosoma" (mineral que reemplaza) constituye las bandas concéntricas. El reemplazamiento es entonces centripeto.

tos cristales son por lo general alotriomórficos. El sulfuro de plomo ha sido reemplazado muy abundantemente por la blenda, hasta desaparecer casi completamente. Es probable que la mayoría de la blenda se haya formado por reemplazamiento de la galena.

Muy escasa y distribuída en el filón sin regularidad es la enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ). En muchas secciones está completamente ausente. Se encuentra en cristales alotriomórficos de pequeñas dimensiones. Ha sido reemplazada abundantemente por la blenda y por la tetraedrita. La posición paragenética de este mineral no es bien definida. Sin duda es anterior a la blenda y a la tetraedrita, por los cuales minerales ha sido reemplazada. Entre galena y enargita no se notan relaciones paragenéticas. En el orden paragenético normal la enargita es anterior de la galena, y no se ven inconvenientes para aceptar esta teoría.

La covelita ( $\text{CuS}$ ) fue encontrada, en pequeña cantidad, solamente en una sección. Se halla con más frecuencia en forma de pequeñas venillas en los planos de exfoliación de los otros minerales metálicos, y principalmente de la galena. Se encuentran también unos cuantos cristalitas de este mineral en la ganga. La covelita es el último mineral formado en el filón San Celestino y es muy probablemente de origen supergénico. A veces está acompañada por poca calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ).

Entre las gangas, el mineral más común es el cuarzo. Los carbonatos están también presentes, pero en cantidad muy escasa. El cuarzo se encuentra en dos generaciones. La primera, cuarzo I, causó el reemplazamiento de parte de la galena, y fue luego reemplazado en parte por la blenda. Su posición paragenética resulta entonces estar comprendida entre las de estos dos sulfuros. La segunda generación de cuarzo cementó las pequeñas fracturas de los otros minerales, y rellenó, junto con la pirita II, los espacios vacíos entre los fragmentos de la brecha. Este cuarzo II se depositó poco después de la pirita II y de la marcasita, de soluciones de temperatura muy baja.

## PARAGENESIS

Del estudio de las secciones pulidas y de las relaciones existentes entre los varios minerales del filón San Celestino, resulta el siguiente orden paragenético de deposición:

Pirita I - Enargita - Galena - Cuarzo I - Blenda y Tetraedrita - Pirita II y Marcasita - Cuarzo II - Covelita y Calcocita.

La mineralización del filón San Celestino no se efectuó en una sola fase, sino en varios tiempos sucesivos.

La primera fase comprende la deposición de pirita I, galena y cuarzo I; hacen parte de la segunda fase blenda y tetraedrita, y de la ter-



cera, pirita II, marcasita y cuarzo II. La covelita y la calcocita son, como ya hubo ocasión de explicar, de origen tardío y supergénico.

La separación de estas fases está revelada por varios fenómenos. Entre las fases primera y segunda se nota un rejuvenecimiento de las soluciones, es decir que las soluciones de la segunda fase son de temperatura más alta que las de la primera. En realidad, la blenda y la tetraedrita se depositan de soluciones más calientes que la galena; entonces, siendo el orden de deposición el que se describió, resulta claro que estos minerales no pueden pertenecer a la misma fase metalizante, sino a dos diferentes fases, de las cuales la segunda es de temperatura mayor que la primera.

Entre la segunda y la tercera fase mineralizante, hubo una fase tectónica de fuerte intensidad que causó la brechadura de los minerales ya depositados. Los minerales de la tercera fase se depositaron sobre todo en los intersticios de la brecha, cementando los fragmentos.

La historia de la mineralización del filón San Celestino puede por lo tanto resumirse así:

En el pórfido ácido de California hubo una primera fase tectónica, la cual abrió una red de fracturas de pequeñas dimensiones que fueron utilizadas como vías de subida por las soluciones mineralizantes de la primera y segunda fase. Estas soluciones, no solamente depositaron sus sales metálicas en el interior de estas fracturas, sino que también penetraron en la roca encajante, causando, en un primer tiempo, una impregnación de pirita que se extendió en el pórfido hasta una distancia fuerte del filón. La roca, en los alrededores del filón, resultó fuertemente alterada por las soluciones, y por lo tanto perdió su natural compactamiento, permitiendo a la enargita y a la galena, que siguieron la pirita, depositarse no solamente en el interior de las fracturas, sino también en la roca encajante, cerca de las salbandas, causando substitutiones masivas. Al final de esta fase, cierta cantidad de cuarzo se depositó, reemplazando parte de los sulfuros ya formados.

A esta fase siguió, en un segundo tiempo, una nueva fase de temperatura más alta, que depositó, más que todo, blenda y tetraedrita, causando reemplazamientos de los sulfuros ya formados en la precedente fase. La mineralización en esta fase fue masiva, aunque de intensidad no muy fuerte. La blenda es el mineral más abundante, y la tetraedrita es subordinada. En solución estos dos sulfuros tenían que constituir una fase bastante homogénea pero, en la deposición, los dos minerales se separaron dando lugar muchas veces a fenómenos de desmezcla. La galena, que antes era el mineral más abundante, fue grandemente substituída y perdió su importancia.

En este tiempo hubo una interrupción bastante larga de la mineralización. Una fase tectónica de grande intensidad causó la formación de una falla de grandes dimensiones, rellena por una brecha constituída en su mayoría por fragmentos de los minerales metáli-



cos y, subordinadamente, por elementos del pórfido, lo que demuestra que la primitiva mineralización tenía que ser masiva. Es muy probable que esta fase tectónica haya sido la continuación de la primera, y que, en realidad, no haya habido ninguna interrupción entre las dos y que la mineralización haya sido contemporánea a la formación de la falla, pero parándose antes del cumplimiento de la fase tectónica.

La última fase mineralizante es de importancia secundaria. Pirita concrecional, acompañada por pequeñas cantidades de marcasita, por cuarzo y probablemente por calcedonia, ha cementado los fragmentos de la brecha, causando ligeros reemplazamientos de los minerales ya formados.

Esquemáticamente, la mineralización del filón San Celestino puede resumirse así:

I fase tectónica: formación de una red de pequeñas fracturas

|                        |                      |                         |
|------------------------|----------------------|-------------------------|
| I fase mineralizante:  | Pirita I             | } Mineralización masiva |
|                        | Enargita             |                         |
|                        | Galena               |                         |
|                        | Cuarzo I             |                         |
| II fase mineralizante: | Blenda y Tetraedrita |                         |

II fase tectónica: formación de la falla mayor y brechadura de los minerales

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| III fase mineralizante: | } Pirita II y Marcasita |
|                         |                         |

Alteración superficial y lixiviación: Covelita y Calcocita.

## CONCLUSIONES MINEROGENETICAS

La temperatura de las soluciones que han originado la mineralización del filón San Celestino comprende todo el campo hidrotermal, desde el catatermal (pirita, blenda rica en hierro), hasta el epitermal (pirita coloidal, marcasita); además hay que tener en cuenta la probable presencia de fases de temperatura más alta, siendo que en este filón se encuentra cierta cantidad de uranio, revelada sea con el contador Geiger, con análisis químicos, o también con los rayos X (NELSON). Pero la presencia de este mineral no fue comprobada con el estudio de las secciones pulidas.

El yacimiento es de tipo subvolcánico.

Esta observación está basada sobre los siguientes hechos:

*Paragénesis telescópica:* En este filón hay varias fases mineralizantes de temperatura diferente, intercaladas entre sí mismas; rápido enfriamiento de las soluciones.

*Salbandas no bien definidas:* la mineralización no está limitada en el interior del filón, sino que substituye la roca encajante con minerales metálicos, de tal manera que frecuentemente las salbandas no son visibles.

*Salbandas alteradas*

*Campo de variación de temperatura muy vasto.*

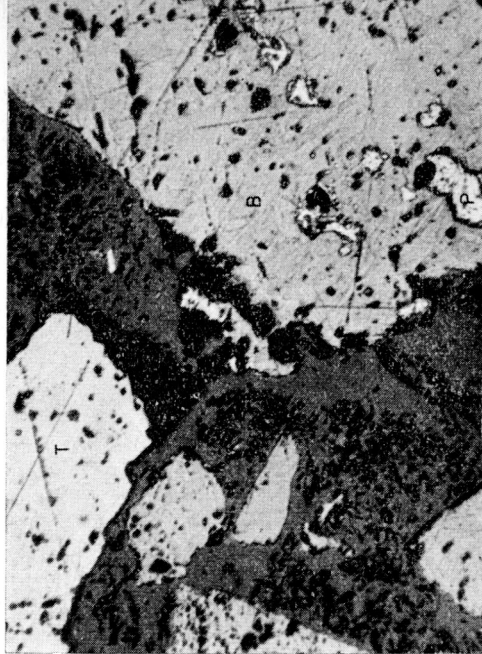
Por lo tanto el origen de las soluciones hidrotermales que originaron la mineralización del filón San Celestino está en el mismo batolito que causó la formación del pórfido ácido de California. Entonces estas soluciones son una manifestación tardía y diferenciada de la actividad magmática de este batolito.

#### BIBLIOGRAFIA

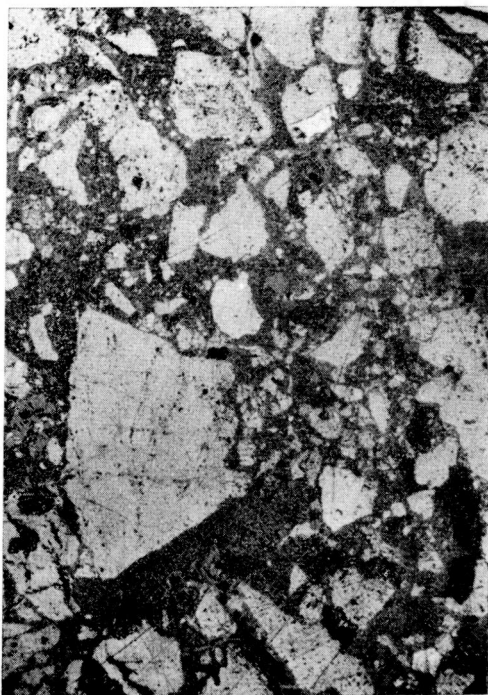
- J. A. BUENO: Yacimientos de uranio y otros minerales en la región de La Baja, municipio de California, Departamento de Santander — Instituto Geológico Nacional, Boletín Geológico Vol. III, N° 3, — Bogotá, 1955.
- D. di COLBERTALDO: Corso di giacimenti minerari — CEDAM Padova 1957.
- E. RAGUIN: Géologie des Gites Minéraux — Masson, Paris 1949.
- J. SPURR: The Ore Magmas — McGraw Hill, New York 1923.



Ejemplo de textura brechada. Alrededor de los fragmentos de blenda (B) se observa una deposición de pirita II (P). Muy escasos los fragmentos de minerales de ganga. Micrografía de sección pulida, luz natural, ampliación 12x.



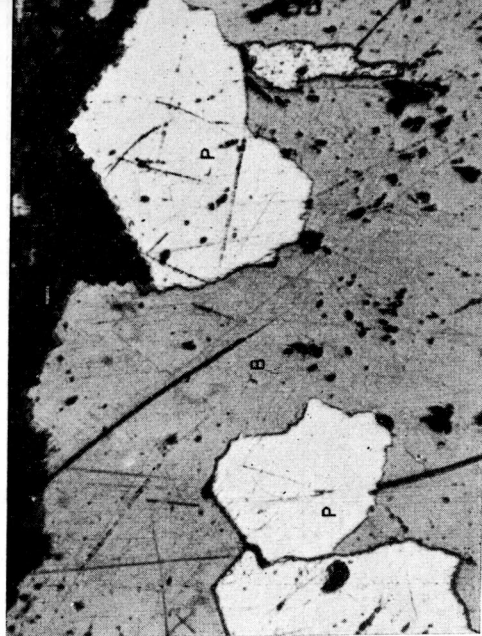
Minerales del filón San Celestino: Blenda (B) con inclusiones de pirita I (P), y tetrahedrita (T). Micrografía de sección pulida, sólo polarizador, ampliación 120x.



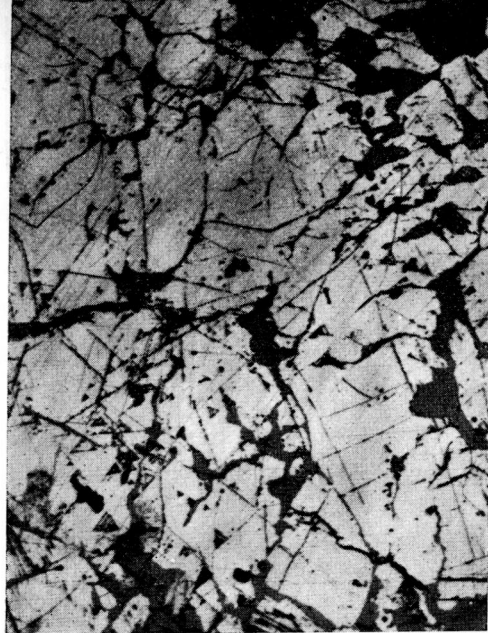
Ejemplo de textura brechada. Los fragmentos son por lo general angulosos y de dimensiones variables. En la mayoría se trata de blenda (gris); escasa la tetrahedrita (blanco). Micrografía de sección pulida, luz natural, ampliación 12x



Minerales metálicos del filón San Celestino: pirita II en forma de impregnación muy fina de la roca y pirita I, idiomorfa. Micrografía de sección pulida, sólo polarizador, ampliación 225x.



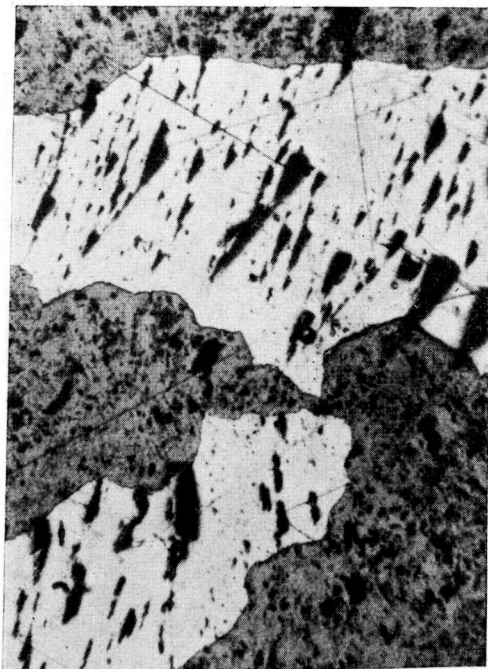
Pirita I (P), idiomorfa, reemplazada por blenda (B). Micrografía de sección pulida, sólo polarizador, ampliación 120x.



Galena reemplazada por blenda. El sulfuro de zinc (gris) penetra a lo largo de las fracturas y de los planos de exfoliación del sulfuro de plomo. Micrografía de sección pulida, sólo polarizador, ampliación 12x .



En la izquierda un fragmento de blenda (B) reemplazado en los bordes por cuarzo II (gris). En la derecha, la pirita II (P) se deposita en los bordes de un fragmento de ganga y lo reemplaza en parte. Micrografía de sección pulida, sólo polarizador, ampliación 120x.



Un cristal de galena (blanco) reemplazado por la blenda (gris). Se puede observar que los planos de exfoliación de la galena son más o menos paralelos en los dos restos del cristal. Micrografía de sección pulida, sólo polarizador, ampliación 120x.