

LOS YACIMIENTOS DE SULFUROS POLIMETALICOS DEL S. O. IBERICO Y SUS METODOS DE PROSPECCION *

GIL FERNÁNDEZ ALVAREZ**

RESUMEN.—En este trabajo se describen los principales caracteres geológicos y metalogénicos de la Faja Pirítica del S.O. de la Península Ibérica, analizando especialmente la petrología, estratigrafía, tectónica y metalogenia de la zona de Valdelamusa, en el borde norte de la Faja Pirítica.

Como consecuencia de ello, se discuten las posibilidades de descubrir nuevos yacimientos y la metodología para su prospección y exploración.

SUMMARY.—The main geological and metallogenic features of the South Iberian Pyrite Belt are summarized in this paper, with special emphasis on the petrology, stratigraphy, tectonics and metallogeny of the Valdelamusa zone, on the northern border of the Belt.

Some considerations on the possibility to find out new ore deposits and a discussion about the present methodology for their prospection and exploration are also made in this paper.

INTRODUCCION

Uno de los más graves problemas con que se enfrenta el mundo actual es la carencia de materias primas para la alimentación de su creciente industria. La escasez se debe al desmesurado crecimiento del consumo con la consecuente disminución de las reservas conocidas. Para seguir el ritmo actual de crecimiento es necesario encontrar nuevos yacimientos de minerales que permitan compensar el agotamiento de los actuales.

La localización de nuevos yacimientos exige la prospección geológica de áreas hasta ahora inéditas, o la reconsideración de las provincias metalogénicas conocidas, aplicando métodos modernos de exploración. El espectacular avance de las Ciencias Geológicas en las últimas décadas permite afrontar con éxito la búsqueda de nuevos yacimientos en distritos mineros antiguos, explotados durante centurias.

* Esta comunicación es un resumen de la Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Salamanca el 2 de febrero de 1974.

** Geólogo de Asturiana de Zinc, S. A.

Dentro del marco de estas esperanzas se inserta la presente Tesis, que estudia la posibilidad de nuevos yacimientos de sulfuros polimetálicos en la provincia metalogénica del S. O. Ibérico, donde existen yacimientos tan conocidos como RIOTINTO, THARSIS, ALJUSTREL, etc.

Para llevar a cabo el presente estudio —teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos a lo largo de varias décadas de explotación ininterrumpida— se ha realizado un plan sistemático de trabajo que viene reflejado en el esquema número 1.

PLAN GENERAL DEL TRABAJO

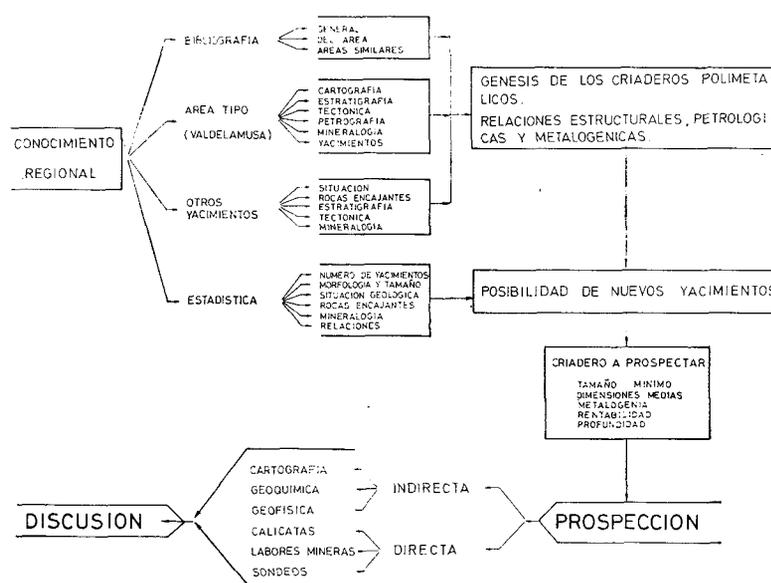


FIG. 1

SITUACIÓN Y GENERALIDADES

Se denomina FAJA DE SULFUROS POLIMETÁLICOS DEL S. O. IBERICO a una franja de 235 Km. de largo por 35-40 Km. de anchura que, con dirección E-O en España y ONO en Portugal, va desde las proximidades de Sevilla (España) hasta las de Grândola (Portugal). Representa una provincia metalogénica cerrada en el espacio y en el tiempo en la que existen más de 75 masas de sulfuros polimetálicos conocidas, con predominio de la piritita sobre el resto de los minerales.

Limita al N. por el geanticlinal de Aracena y Beja, al S. por sedimentos pliocuaternarios que la cubren discordante e irregularmente, mientras que por el Este y Oeste sus límites son las cuencas del Guadalquivir y Sado, res-

pectivamente. La Faja es un sinclinorio de materiales paleozoicos entre los que se encuentran los yacimientos.

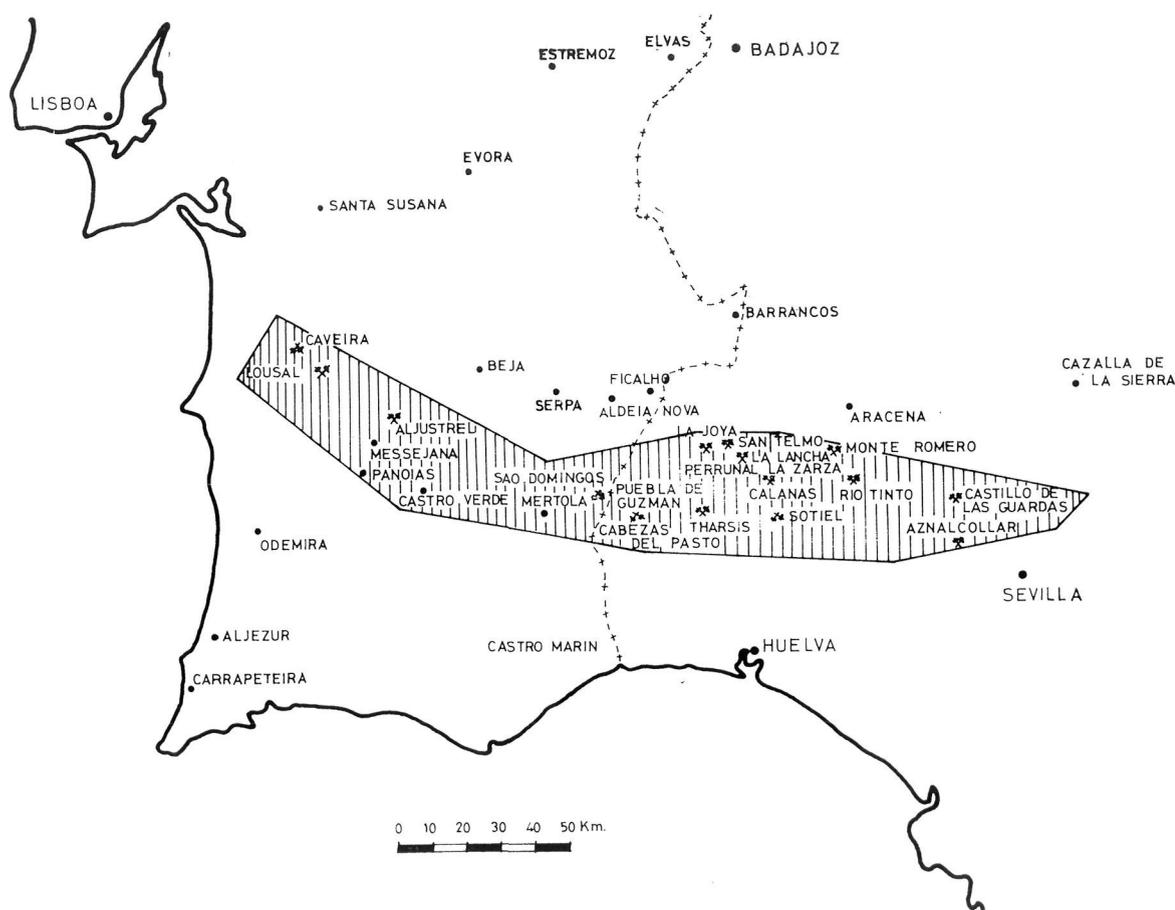


FIG. 2
Situación de la Faja Pirítica del S.O. Ibérico

La provincia de Huelva ocupa la zona más importante de la Faja, siendo el Andévalo la comarca ocupada por la misma. Morfológicamente el Andévalo es una penillanura arrasada en período de rejuvenecimiento en la que sobresalen algunos monnadoks, restos de la antigua penillanurización. La denudación pliocuaternaria ha puesto al descubierto la mayor parte de los yacimientos conocidos, ocasionando las llamativas monteras de hierro.

RESEÑA HISTÓRICA

Atraídos por las monteras de hierro debajo de las cuales se encuentran las zonas de enriquecimiento supergénico, los tartesos, fenicios y romanos

iniciaron la explotación de los yacimientos de la Faja, beneficiándose del oro y cobre secundarios, alcanzando profundidades de hasta 50 m. Salvado el lapsus de la Edad Media, la revolución industrial, con la aplicación de nuevas técnicas y el encarecimiento del cobre, permite alcanzar mayores profundidades y extraer la calcopirita como mineral básico.

Posteriormente la necesidad del azufre como materia prima para la fabricación de abonos revalorizó la pirita con aprovechamiento del cobre y hierro contenidos, pasando de mena de cobre a mena de azufre, mientras que los restantes sulfuros que componen las masas de sulfuros polimetálicos seguían constituyendo impurezas. Con la aparición en las últimas décadas de otras fuentes de azufre más baratas, la elevación del precio de los demás metales, así como el desarrollo de nuevas técnicas de tratamiento, se llega al aprovechamiento integral de todos los sulfuros contenidos en los yacimientos de la Faja Pirítica convirtiéndose en mena de varios metales: azufre, hierro, cobre, zinc, plomo, plata, etc., a la vez que se aprovecha la energía procedente de la tostación de las piritas.

Este breve resumen expone la evolución del mercado de minerales, que se hace más rápida en los últimos tiempos con la aparición frecuente de nuevas técnicas, depreciación de algunos elementos y revalorización de otros. Este constante cambio, hace de la minería uno de los negocios más arriesgados, lo que es necesario tener en cuenta a la hora de valorar un yacimiento.

Al final del trabajo damos un breve resumen de la bibliografía de la cuenca.

ESTRATIGRAFÍA

Los terrenos que constituyen la Faja Pirítica del S. O. Ibérico están formados por sedimentos detríticos y volcanosedimentarios pertenecientes al paleozoico, con intrusiones de granito y filones hidrotermales, cubiertos parcialmente por materiales terciarios y cuaternarios.

La serie sedimentaria inferior "serie basal" o "serie corona", está formada por sedimentos detríticos, arcillosos y calizos pertenecientes al Fameniense, datados por medio de conodontos por HÖLLINGER (1958), MAC GUILLAVRY (1961) y VAN DEN BOOGART (1967). Tiene un espesor superior a los 500 m. y constituye el núcleo de los anticlinales.

Sobre la serie basal aparece la "Formación Volcánica" de potencia muy variable y difícil de calcular debido a la tectónica, con un espesor máximo de 1.500 m. Se compone principalmente de rocas extrusivas, lavas y piroclásticas, junto con sedimentos detríticos depositados en la cuenca. En esta formación se encuentran todos los yacimientos de sulfuros polimetálicos conocidos, asociados a las últimas fases del vulcanismo. Se reconocen varios

episodios volcánicos superpuestos que, junto con la complicada tectónica de la cuenca y los mecanismos de transporte de sulfuros, sitúan los yacimientos en cualquier horizonte dentro de la formación.

El techo de la serie lo constituye una potente formación de pizarras y grauvacas pertenecientes al Visense Inferior, datada desde antiguo por su fauna de lamelibranquios (*Posidonomia becheri*) y goniatites (*Goniatites estriatus*)

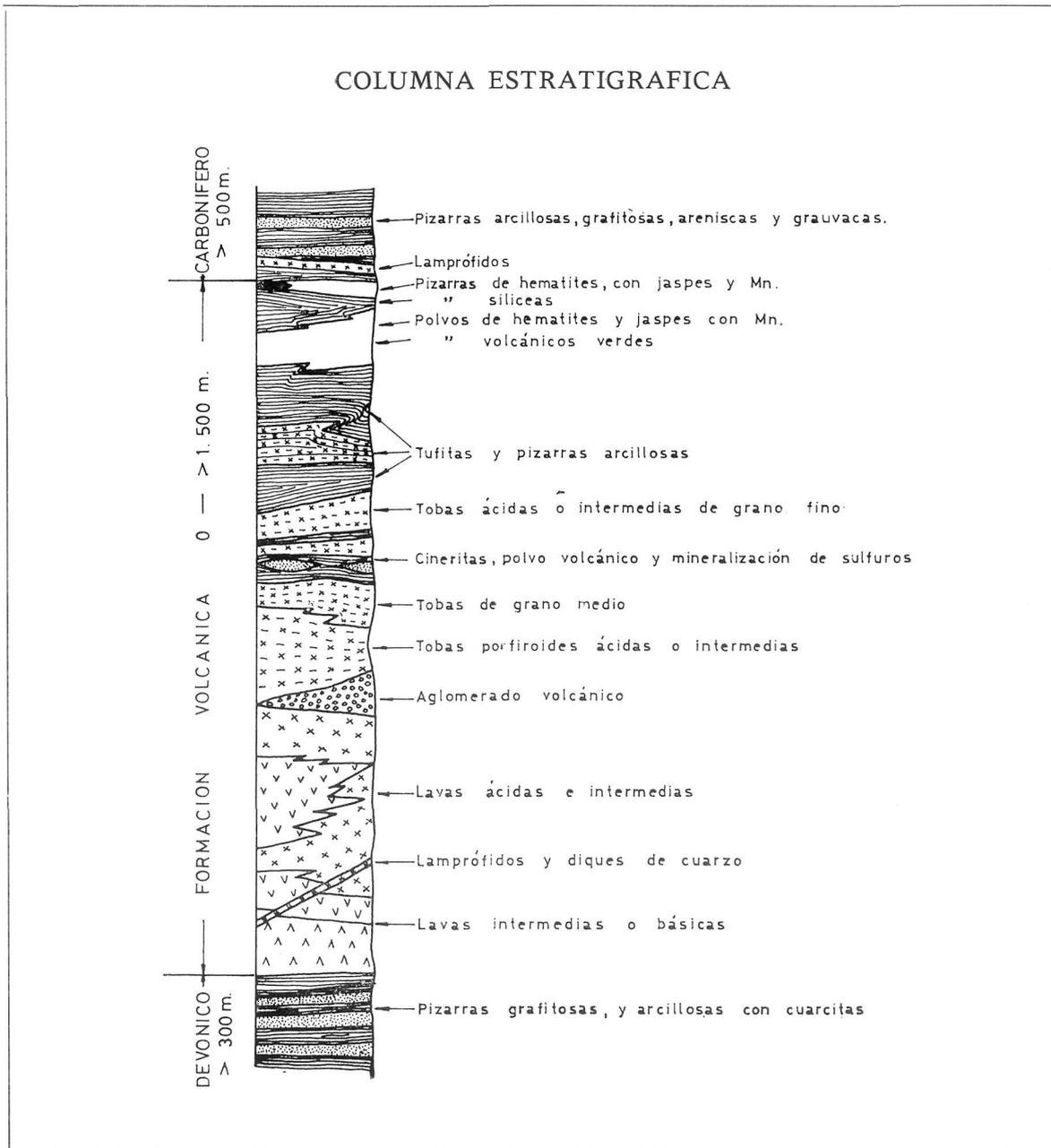


FIG. 3

Esta secuencia varía de unos puntos a otros, tanto en la clase de materiales como su situación relativa

Discordante con las anteriores formaciones y al sur de la región se encuentran calizas, arenas y conglomerados pertenecientes al Mioceno y Pliocuaternario. A esta edad corresponden los depósitos de hierro sedimentario o "falsas monteras", procedentes de la erosión de las masas piríticas.

Dentro de la Faja existen intrusiones de granitos, rocas filonianas, pórfidos, diabasas y lamprófidos evidentemente posteriores a la formación volcánica.

PETROGRAFÍA

Resulta uno de los capítulos mejor estudiados de la cuenca, con excelentes estudios de APPS (1961), FEBREL (1969), RAMBAUD (1969), SOLER (1969) y STRAUSS (1965), etc., todos ellos con ideas modernas sobre la clasificación de las rocas volcánicas.

Las rocas sedimentarias se sitúan en los tres tramos de la serie representadas por cuarcitas, pizarras, grauvacas y calizas.

CUARCITAS: Se encuentran en el núcleo de los anticlinales devónicos, en lentejones o capas de muy variable espesor. Son de colores claros, amarillos, grises y rojizos. Al microscopio tienen textura equigranuda, granoblástica, con bajo grado de metamorfismo.

PIZARRAS: Frecuentes en los 3 tramos de la serie, pueden dividirse en pizarras arcillosas, limolíticas, grafitosas, hematíticas y silíceas.

Pizarras arcillosas: Frecuentes en los tres tramos, tienen colores claros y son indiferenciables en muestra de mano. Al microscopio se ven formadas por un fieltro sericítico-arcilloso con cristales submicroscópicos de cuarzo. Circón, apatito, turmalina, piritita y óxidos de hierro son los accesorios más comunes.

En las pizarras grafitosas el carbono se encuentra finamente diseminado entre los planos de esquistosidad y, aunque su abundancia aparente es mayor, no supera el 3 %.

La hematización es un fenómeno producido en las últimas fases del vulcanismo, mezclándose con los demás materiales. Las pizarras de hematites tienen una textura fuertemente pizarrosa con cuarzo, sericita y algunos carbonatos mezclados con hematites muy fina.

GRAUVACAS: Se encuentran en los niveles superiores del carbonífero, formando la facies flysch de los últimos episodios de colmatación de la cuenca. Son sedimentos clásticos de diverso tamaño estratificados en delgadas capas o en bancos potentes, de color gris-verdoso cuando frescas y amarillento-pardo en superficie. Al microscopio se caracterizan por su heterogeneidad

y heterometría, textura brechiforme y fragmentos líticos procedentes de materiales más antiguos.

CALIZAS: Son niveles de poco espesor, nódulos o lentejones que se encuentran en el devónico. Tienen colores oscuros, algo impuras.

VOLCANITAS

RITTMAN (1963) denomina volcanitas a todas las rocas que deben su origen a las lavas, bien sea emitidas en su fase efusiva o en forma explosiva. Definición que puede aplicarse a todas las rocas volcánicas del S. O. Ibérico comprendidas entre el Devónico y el Carbonífero, que han sido consideradas por los autores antiguos como intrusivas.

La frecuente relación existente entre las mineralizaciones de sulfuros y la asociación Queratófido-Espilita en ambiente de geosinclinal preorogénico, así como la capacidad metalogénica de las lavas espilíticas, nos obliga a considerar las rocas de la Faja como pertenecientes a esta asociación.

Según TURNER y VERHOOGEN, VALLANCE y otros (1969), los caracteres diferenciadores de la asociación Queratófido-Espilita, son los siguientes:

- Erupción en las primeras fases del geosinclinal, generalmente submarino.
- La mayoría de las espilitas son lavas almohadilladas, aunque no sea este un carácter definitorio.
- Elevado contenido de Na_2O , bajo K_2O y Al_2O_3 .
- Gran capacidad metalogénica.
- Gran dispersión en su composición química.
- Componentes esenciales: Albita de baja T, clinopiroxenos y productos de alteración.
- Frecuente alteración deutérica e hidrotermal de sus componentes, semejante al metamorfismo de bajo grado (pizarras verdes).
- Asociación frecuente a jaspes y sedimentos manganésíferos.
- Pueden contener también basaltos de composición normal.

Todas estas condiciones se dan entre las lavas de la Faja, con predominio de Na_2O , gran dispersión química (diagrama de Kuno), alteración deutérica e hidrotermal, asociación a jaspes y sedimentos manganésíferos, etc. Sin embargo, es frecuente encontrar rocas pertenecientes a la asociación Basalto-Riolita que, como vemos en el último apartado, suelen ser frecuentes entre la asociación Queratófido-Espilita.

VOLCANITAS ÁCIDAS: Abundan más al Norte de la Faja, dentro de ellas diferenciamos riolitas, riodacitas y cuarzoqueratófidos. Tienen textura flui-

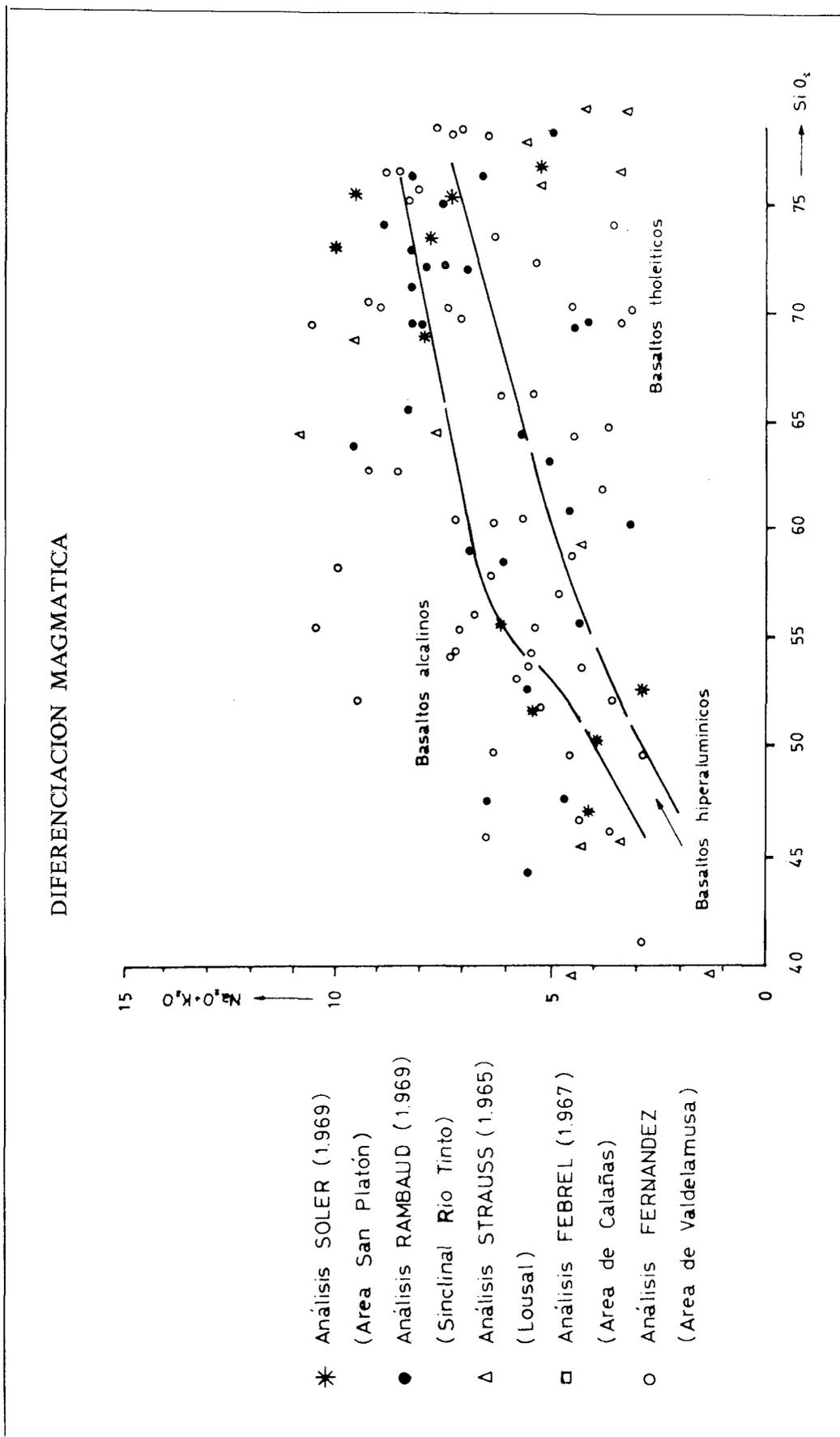


FIG. 4

Diagrama de KUNO (1968) aplicado a la Faja Pirítica del S.O. Ibérico

dál con abundante cuarzo y plagioclasa sódica, generalmente de baja T, aunque se encuentra también albita de alta T. La sericita, omnipresente en todas las rocas de la provincia, indica un metamorfismo regional de bajo grado, alteración deutérica, o superposición de ambos fenómenos.

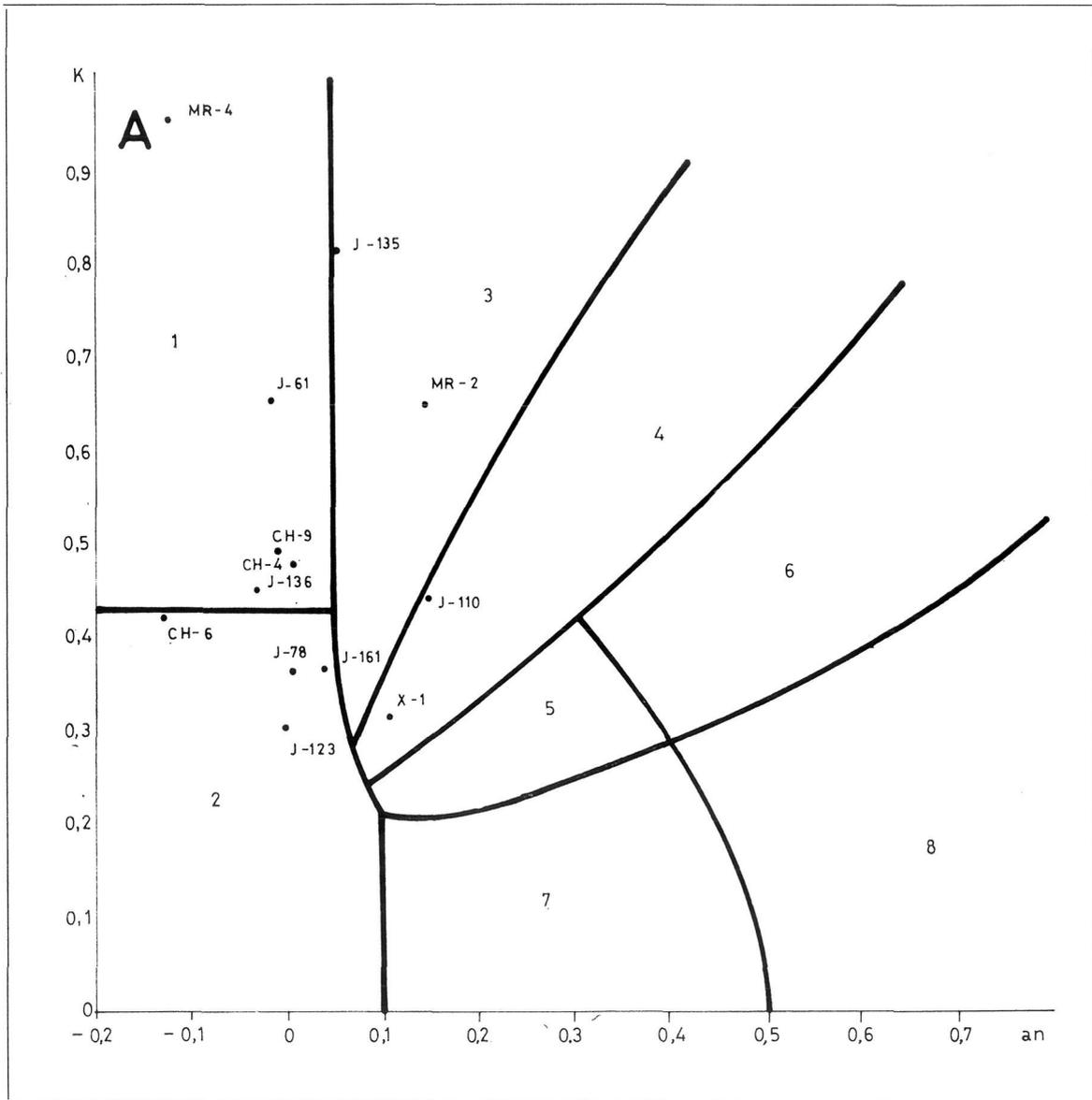


FIG. 5

Diagrama de RITTMAN para la determinación de las familias de las rocas sobresaturadas

VOLCANITAS INTERMEDIAS: Constituyen la mayor parte del área de la formación volcánica de la Faja, incluimos en ellas solamente las dacitas y andesitas. Constituyen extensos conjuntos indiferenciables en el campo, ma-

sivas, fuertemente alteradas, en asociación con sus tobas correspondientes de las que son difíciles de diferenciar a veces. Al microscopio tienen textura porfídica con cristales de cuarzo, muy escasos en la dacita y submicroscópicos en la andesita, en matriz sericítica, con epidota y clorita; como secundarios calcita, zoisita, leucoxeno esfena, hematites y piritita. Las plagioclasas suelen ser oligoclasa en las dacitas (an 23), mientras que en las andesitas las plagioclasas son más cálcicas oligoclasa-andesina (an 33).

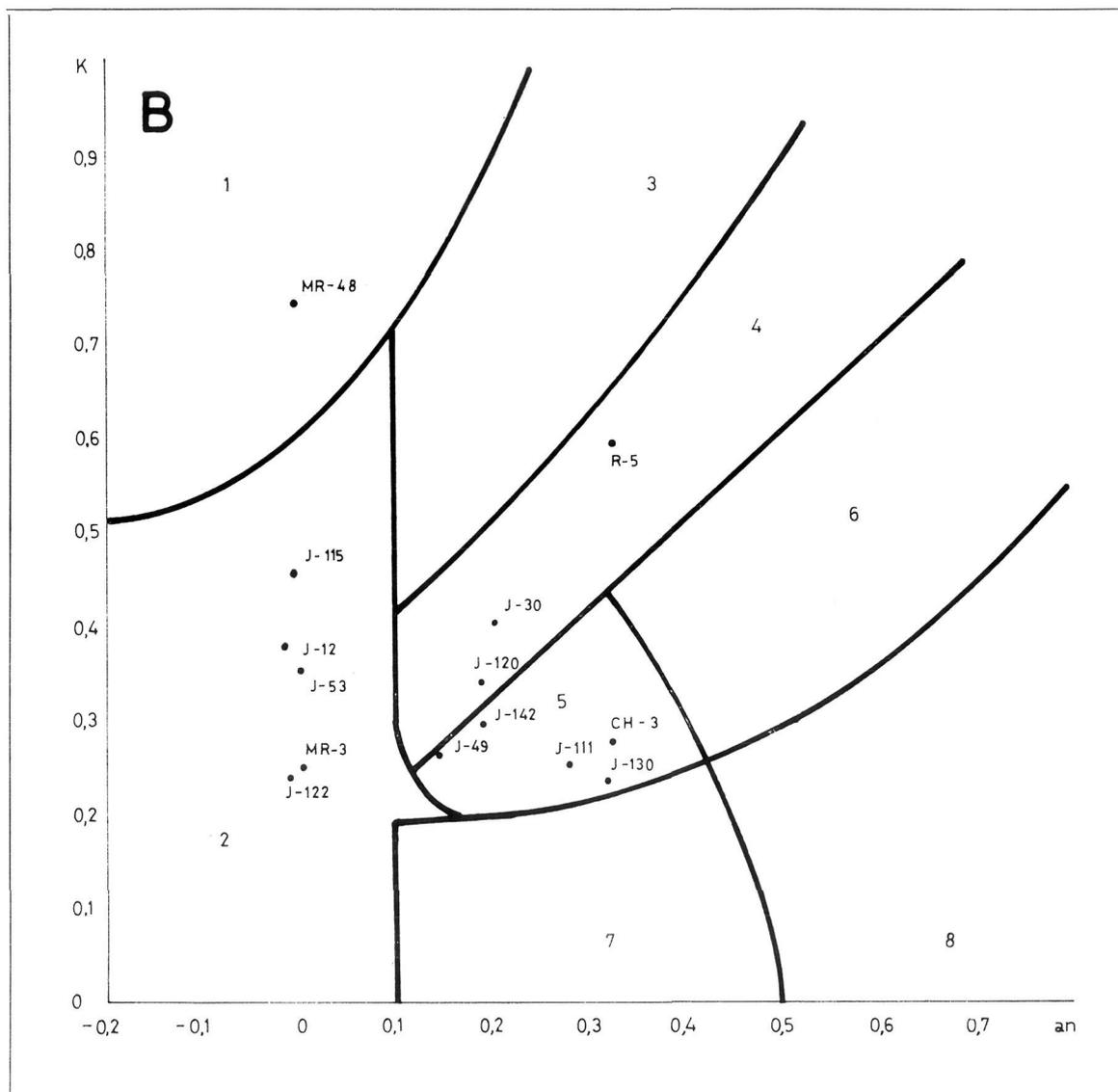


FIG. 6

Diagrama de RITTMAN para la determinación de las familias de las rocas saturadas

VOLCANITAS BÁSICAS: Son menos frecuentes en el norte que en el centro y sur de la Faja. Se encuentran muy alteradas, distinguimos principalmente

espilitas y algún basalto, aunque estos últimos son difíciles de determinar debido al grado de alteración. Existen rocas piroclásticas asociadas, aunque son poco frecuentes. Al microscopio tienen texturas micropofídicas, subofíticas e intersertales, con una pasta formada por microcristales de plagioclasa alterados, epidota, zoisita, leucoxeno, esfena, ilmenita, calcita y gran cantidad de opacos, hematites, pirita, etc., así como productos de la alteración deutérica e hidrotermal. Son de color marrón oscuro en superficie y verde oscuro cuando están frescas, suelen encontrarse asociadas a jaspes y mineralizaciones de manganeso.

ROCAS PIROCLÁSTICAS: Las emisiones explosivas del vulcanismo fisural submarino de la cuenca han producido bombas, lapilli y cenizas que al sedimentarse forman los aglomerados, brechas, tobas y polvos volcánicos, según la forma y tamaño de los granos. En los aglomerados y brechas los cantos están cementados por una matriz tobácea, y en las tobas por polvo volcánico fino más o menos alterado. Como las lavas, las rocas piroclásticas pueden diferenciarse por su quimismo en ácidas, intermedias y básicas, siendo este carácter poco importante a efectos de mineralización, más interesante es la relación del tamaño de los materiales piroclásticos con los focos volcánicos y las masas de sulfuros. La emisión explosiva corresponde a las últimas fases del episodio volcánico en la que los clastos mayores se sitúan en las proximidades del foco volcánico, seguidos de tobas de distinto tamaño de grano y cineritas de grano fino entre las que se sitúan las masas de sulfuros. Finalmente se encuentran los sedimentos coloidales, cherts, jaspes, jaspilitas y mineralizaciones de manganeso, todos ellos como componentes de la emisión fumarólica póstuma.

ROCAS INTRUSIVAS Y FILONIANAS: En la periferia de la Faja, especialmente en su borde nordeste, es frecuente encontrar intrusiones frías de granitos y granodioritas con un ligero halo de metamorfismo.

Dentro de la Faja encontramos rocas filonianas, pórfidos riolíticos y andesíticos, lamprófidos (generalmente kersantitas) y diabasas. Son posteriores al vulcanismo y no tienen relación con las mineralizaciones de sulfuros.

TECTÓNICA

La Faja Pirítica del S. O. Ibérico es una formación devono-carbonífera plegada isoclinalmente con vergencia sur y numerosas fallas, transversales de desgarre, y longitudinales con el labio sur hundido en las que se producen cabalgamiento de los materiales inferiores sobre los carboníferos. Los núcleos de pizarras y cuarcitas devónicas han sido puestos al descubierto por la erosión mostrando, en ocasiones, la discordancia sur de las fallas longitudinales y su concordancia por el norte.

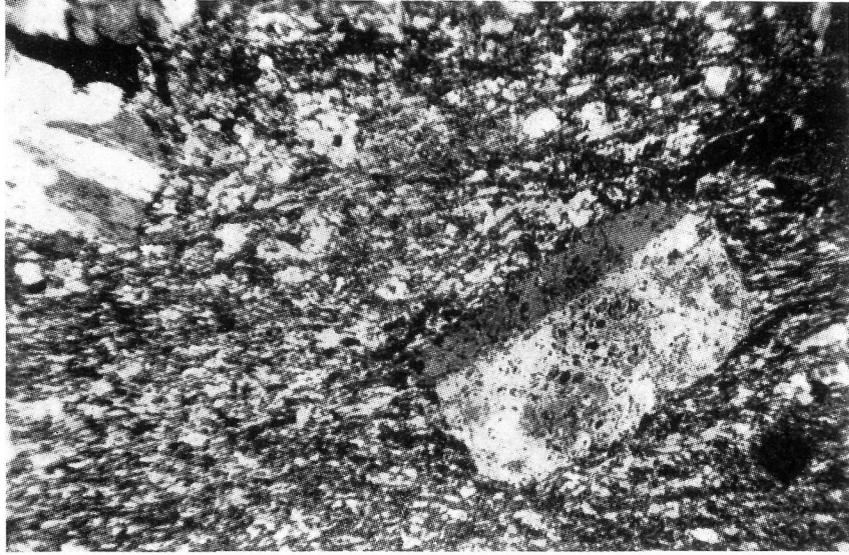


FIG. 7

Prep. MR-4.—*Riolita del Monte Magdalena*. NC \times 30
*Fenocristales de ortosa en una matriz cuarzofeldespática con
 abundancia de clorita*

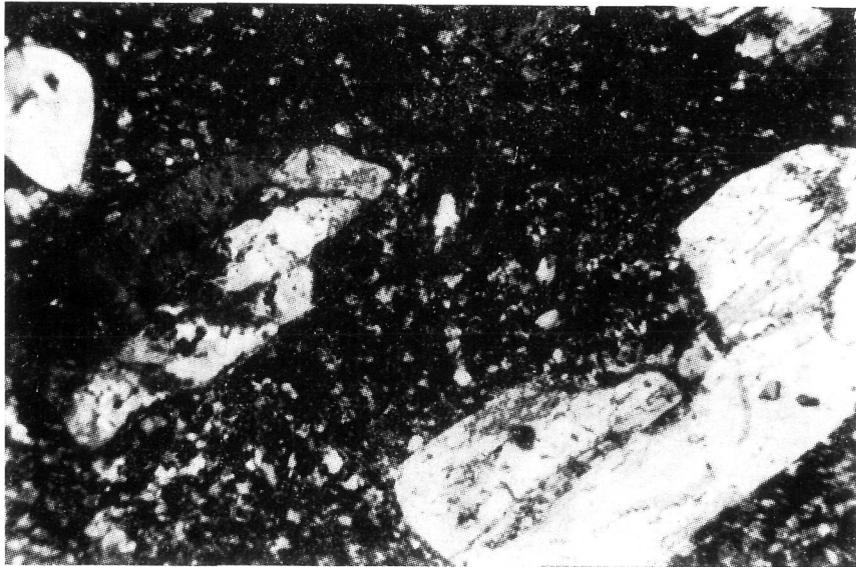


FIG. 8

Prep. J-163.—*Dacita del Sur de Montes Blancos*. NC \times 30
*Fenocristales de cuarzo y plagioclasa ligeramente sericitadas, en
 una matriz cuarzoplagioclásica con clorita criptocristalina inter-
 granular*

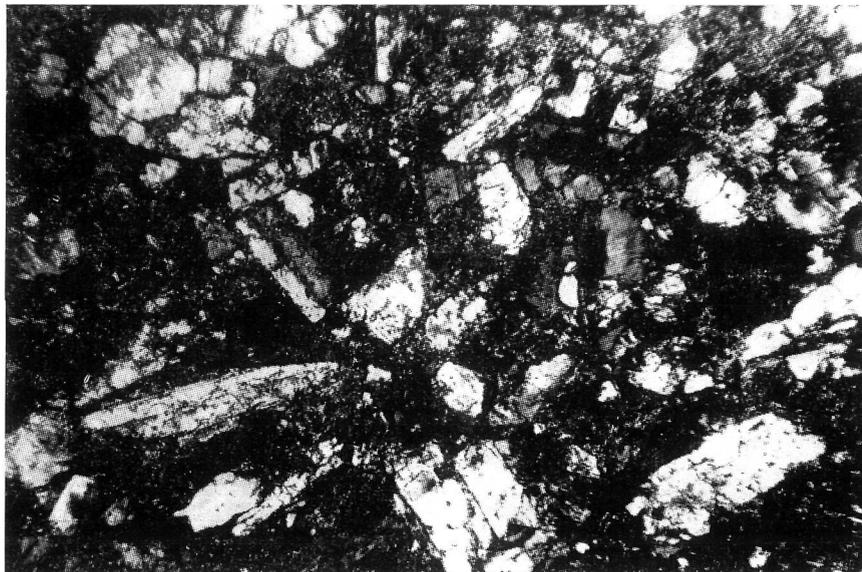


FIG. 9

Prep. J-60.—*Andesita Norte de Angelita. NC × 30*
Textura diabásica en el centro de una colada andesítica. Cristales de plagioclasa en matriz clorítica procedente de la alteración de minerales ferromagnesianos

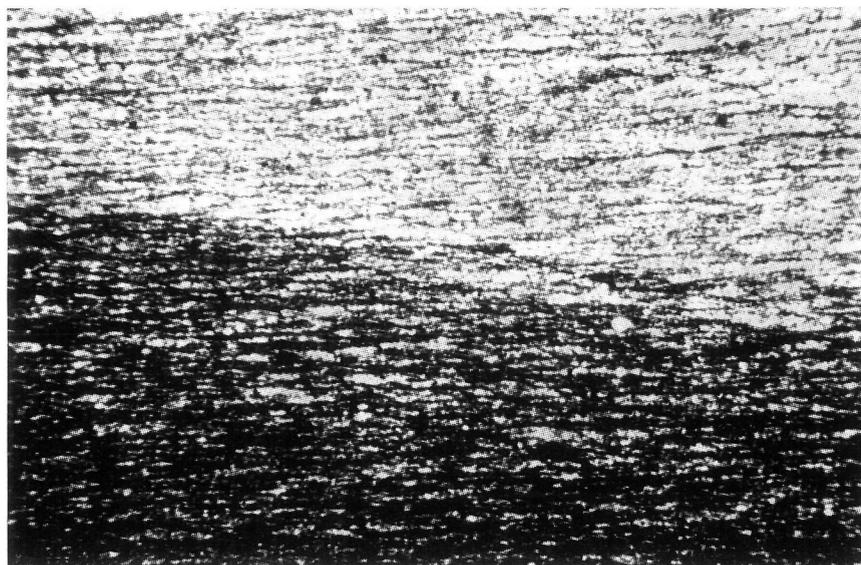


FIG. 10

Prep. J-58.—*Pizarra hematítica, camino S. Miguel. NC × 30*
A la dirección de la estratificación S_0 , señalada por el diferente contenido de hematites, y de la esquistosidad S_1 , que corta a la anterior según un ángulo muy pequeño, se superpone la esquistosidad de crenulación S_2 , paralela, en este caso, al alargamiento de la fotografía

Una fuerte esquistosidad S_1 enmascara la estratificación S_0 , afectando por igual a los materiales volcánicos, devónicos y carboníferos. Una segunda esquistosidad de crenulación S_2 corta a S_1 estando, a su vez, deformada por un tercer crucero S_3 . Es observable un metamorfismo regional de bajo grado —facies de las pizarras verdes— concordante con la esquistosidad S_1 en todos los materiales que componen la Faja, especialmente en las volcanitas. Este metamorfismo resulta más apreciable en la parte Norte donde el plegamiento es más intenso y los esfuerzos fueron mayores.

El plegamiento se produjo durante la orogenia Hercínica en sus distintas fases, ocurriendo probablemente la mayor deformación durante la fase Astúrica. Las fases principales de la evolución del geosinclinal pueden resumirse:

FORMACIÓN PREVOLCÁNICA: Deposición de sedimentos arcillosos y arenosos de edad Fameniense, que dan origen a las pizarras y cuarcitas de los núcleos anticlinales. La estratificación cruzada, riplemarks, etc., observados en estos sedimentos indican un mar poco profundo con posibles movimientos corticales. Al final de esta época corresponde la formación del eumio-geosinclinal con el umbral en la actual sierra de Aracena y el antepaís al Sur.

FORMACIÓN VOLCÁNICA: La debilidad cortical durante la formación del geosinclinal provoca la aparición de fisuras por las que se emitieron importantes cantidades de lavas y rocas piroclásticas, con períodos de autometamorfismo fumarólico y épocas en las que se depositaron sedimentos detríticos. Al final de cada episodio volcánico las exhalaciones eran predominantemente silíceas, hematíticas y manganesíferas, existiendo varios episodios volcánicos superpuestos. A la efusión volcánica corresponde un movimiento de ascenso de la cuenca.

CARBONÍFERO: Se inicia con el hundimiento progresivo de la región, quedando emergido el umbral de Aracena, depositándose una potente serie de arcillas y arenas en aguas poco profundas. Debido al complicado relieve volcánico del fondo submarino y a los movimientos de la cuenca, los materiales visenses varían sensiblemente de espesor de unos puntos a otros de la cuenca.

OROGÉNESIS HERCÍNICA: A finales del Viseense se inician las últimas fases del plegamiento, siendo probablemente en la fase Astúrica donde se produjeron los pliegues de la esquistosidad S_1 . En fases posteriores se produjeron el resto de las esquistosidades reconocidas, kind folds, fallas, etc. Posteriormente tuvo lugar un proceso de descompresión con formación de grietas que se rellenaron de cuarzo e intrusiones de granito y rocas filonianas.

FASE FINAL: A partir del carbonífero todo el país quedó emergido y sometido a la erosión, como cratón rígido, hasta formar la penillanura Permo-triásica, hundiéndose posteriormente en su parte sur con la deposición de sedimentos miocénicos y cuaternarios, seguido de un ascenso relativo que originó el rejuvenecimiento de la penillanura hasta alcanzar el estado actual. Los procesos de penillanurización originaron la denudación de la cobertera carbonífera poniendo al descubierto los materiales volcánicos portadores de las masas de sulfuros polimetálicos.

YACIMIENTOS

Dentro de la Faja Pirítica del S. O. Ibérico existen 3 tipos de yacimientos: De sulfuros polimetálicos; de manganeso y filones hidrotermales. Los dos primeros están asociados a las volcanitas, mientras que los filonianos son posteriores.

En la tesis que tratamos de resumir se estudian únicamente los yacimientos de sulfuros, los de manganeso, íntimamente relacionados con los anteriores, se señalan únicamente por su vinculación al vulcanismo. Los filonianos se mencionan debido a su escaso interés.

Los yacimientos de sulfuros polimetálicos son grandes masas lenticulares de sulfuro de hierro con calcopirita, blenda, galena y otros minerales en menor proporción. Los criaderos de manganeso se encuentran estrechamente ligados a las masas de sulfuros como episodio final de cada fase volcánica, situándose al techo de las masas de sulfuros.

Se conocen unas 76 masas de pirita dentro de la Faja, algunas en agrupaciones tan importantes como Riotinto, Tharsis, Aljustrel, etc., que, por su antigüedad e importancia, se hallan perfectamente descritas en la bibliografía. Por ello dentro de la tesis se estudian otras menos conocidas: Monte Romero, Angelita, Cueva de la Mora, Aguas Teñidas, Confesionarios, La Sorpresa, Herreritos, Lomero Poyatos, San Telmo, Castillo del Buitrón, Tinto y Santa Rosa, Campanario y La Joya.

En este resumen vamos a dar una visión esquemática de Monte Romero, Cueva de la Mora y Castillo Buitrón como ejemplo de yacimientos, con diferentes tipos de mineralización, menos conocidos dentro de la cuenca.

MONTE ROMERO.—Geográficamente Monte Romero se encuentra situado en los 37°46'30" de latitud N. y 3.°06'10" de longitud O. a partir del meridiano de Madrid; 1 Km. al Oeste del poblado de Cueva de la Mora, en el término municipal de Almonaster la Real (Huelva).

Geológicamente el yacimiento se sitúa en el flanco N. del sinclinal de Riotinto, en la formación volcánica, intermedio entre el Devónico y el Carbonífero.

Es un criadero de tipo medio, inicialmente no sobrepasaría los 3 millones de Tm. Se compone de dos lentejones de pirita ferrocobrizada cuyos extremos se prolongan en mineralizaciones de blenda y galena. Su origen es exhalativo-sedimentario como los yacimientos del resto de la Faja.

Las rocas en que encaja la mineralización son las siguientes:

Pizarras: Al N. del yacimiento se encuentra una franja lenticular de pizarras arcillosas que disminuyen de espesor de E. a O. hasta desaparecer interdigitadas en tobas riódacíticas de grano grueso, alcanzando una potencia máxima de 150 m. Sin estar en contacto directo con la mineralización tienen una evidente relación con la ella, finalizando ambas hacia el E.

Tobas: Los materiales piroclásticos se encuentran, como en todas las masas de la cuenca, en contacto con la mineralización. Suelen ser tobas de grano fino de diferente quimismo —generalmente intermedio— y en muchos casos polvo volcánico semejante a las pizarras por su marcada esquistosidad. En Monte Romero encontramos tobas ácidas, andesíticas, espilíticas y de hematites, así como polvos volcánicos de hematites y grises, junto con tufitas, como rocas encajantes. Existe una relación entre el quimismo de las rocas y la mineralización, pues esta desaparece a medida que aumenta hacia el E. la acidez de las rocas de la caja.

Lavas: No es frecuente encontrar lavas en contacto con la mineralización, sin embargo, en Monte Romero existe una andesita en relación directa con la mina. Se sitúa al S. de la mina y llega a estar en contacto directo con el mineral, aunque suele encontrarse separada del mismo una decena de metros. Como en el caso de las pizarras, la andesita desaparece hacia el E. a medida que aumenta la acidez de las volcanitas y disminuye la mineralización.

Mineralogía: Los minerales encontrados en la mena de Monte Romero son semejantes a los del resto de la provincia metalogénica:

Primarios: Pirita, calcopirita, blenda, galena, freibergita, tetraedrita, tenanita, cobre nativo, bournonita y mispíquel.

Secundarios: Calcosina, covellina, melanterita, azurita, malaquita, hematites, goetita, limonita, cuprita, cerusita y anglesita.

Tipos de mineral: La asociación de minerales primarios, junto con su granulometría, da una serie de tipos de mena que se encuentra en casi todas las minas de la cuenca:

Pirita masiva: Constituida por cristales idiomórficos y subidiomórficos en masas de texturas geliformes, framboidales y arriñonadas. Es el mineral

más abundante, sobre todo en la parte central de la mina, y se caracteriza por su alto contenido en S, $> 48 \%$ y bajo en Cu $< 0,8 \%$ con escasas cantidades de Zn y Pb. La calcopirita aparece intersticial, así como la blenda y la galena, entre los bordes corroídos de la pirita.

Mineral complejo pirítico: El aumento de la blenda y la galena en la pirita produce el mineral que denominamos "complejo pirítico", muy frecuente en todas las masas de sulfuros. Se caracteriza por su elevada proporción de Fe, $> 30 \%$, tamaño de sus cristales $< 0,4$ mm. y escasa proporción de sílice. Suele encontrarse en la periferia de los lentejones centrales y en algunos puntos de los extremos de la masa o en vetas laterales.

Mineral cobrizo: Se denomina "mineral cobrizo" a la pirita cuyo contenido en Cu es $> 0,8 \%$. Abunda en la parte central de la mina, es de grano más grueso que la pirita masiva con indicios de blenda y galena.

Mineral complejo masivo: Se compone de gruesos cristales de blenda y galena con escasa cantidad de pirita y sílice. El cobre, abundante, se encuentra en la freibergita. Se presenta en estrechos lentejones en la zona E. de la mina, siendo pocos los yacimientos del área que contienen este tipo de mineral.

Pirita diseminada: Aunque el contacto con el mineral es neto, hay una aureola mineralizada de 3-10 m. de espesor, constituida por cristales euhedrales de pirita diseminadas en toba de grano fino.

Mineral complejo diseminado: Poco frecuente, se compone de gruesos cristales de blenda, galena, calcopirita y pirita diseminados en una toba intermedia de grano fino. A veces son aglomeraciones de cristales y filoncillos que atraviesan la toba en todas direcciones.

De las observaciones realizadas en Monte Romero podemos deducir:

- Existe una concordancia absoluta de las masas con la estratificación.
- Sedimentación graduada, texturas geliformes, framboidales, etc.
- Fenómenos de deslizamiento "slumpings" y baja T de formación de los minerales, así como diseminaciones en los hastiales.
- Morfologías en lentejones y escalón, con pirita central y complejo masivo en los extremos.
- Relación con las mineralizaciones de manganeso.

Por todo ello, la génesis debe ser exhalativo sedimentaria en fondo submarino, al igual que todos los yacimientos de la Faja, asociado a volcanitas. Este hecho parece evidente y actualmente nadie lo discute.

ANÁLISIS DE DIFERENTES MUESTRAS DE MINERAL de Monte Romero.

Muestra nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	48.60	37.40	40.60	29.52	24.00	27.20	18.80	13.22	17.08	21.32
Fe	43.30	24.60	34.30	3.05	8.30	5.10	14.30	8.80	10.65	9.61
Cu	0.70	1.40	2.80	1.40	1.33	2.20	0.90	0.50	0.40	2.30
Zn	1.40	17.60	2.10	32.90	25.13	31.67	0.70	6.20	7.80	30.76
Pb	0.90	7.40	1.10	17.90	7.22	21.65	1.00	3.20	3.40	17.43
As	0.27	0.41	0.32	0.71	0.63	0.57	0.13	0.37	0.61	0.57
Ag. gr/T	43	147	31	286	642	835	-	135	224	311
Au. gr/T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SiO ₂	3.70	6.70	17.30	13.16	23.90	10.34	61.41	61.57	56.00	14.27
SO ₄ Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	0.115	0.076	0.115	0.07	0.096	-	-	0.034	-

Muestra nº 1.- Sondeo de interior nº 211. Mts 14 - 15. Pirita masiva.
 " 2.- Nivel - 92.- Veta 550.- Mineral complejo pirítico.
 " 3.- Nivel - 57.- Sondeo de interior nº 211 Mts. 25 - 26. Mineral cobrizo.
 " 4.- Nivel - 35.- Cuartel 104.- Mineral complejo masivo.
 " 5.- Nivel - 70.- Cuartel 204.- Mineral complejo masivo.
 " 6.- Nivel - 35.- Cuartel 101.- Mineral complejo masivo.
 " 7.- Nivel - 70.- Sondeo nº 224, Zona Este.- Pirita diseminada.
 " 8.- Nivel - 90.- Cuartel 210, Zona Oeste.- Mineral complejo diseminado.
 " 9.- Nivel - 90.- Cuartel nº 211, Zona Oeste.- Mineral complejo diseminado.
 " 10.- Nivel - 70.- Cuartel 201.- Mineral complejo masivo.

Todos los análisis han sido realizados en los laboratorios de Asturiana de Zinc. S.A.

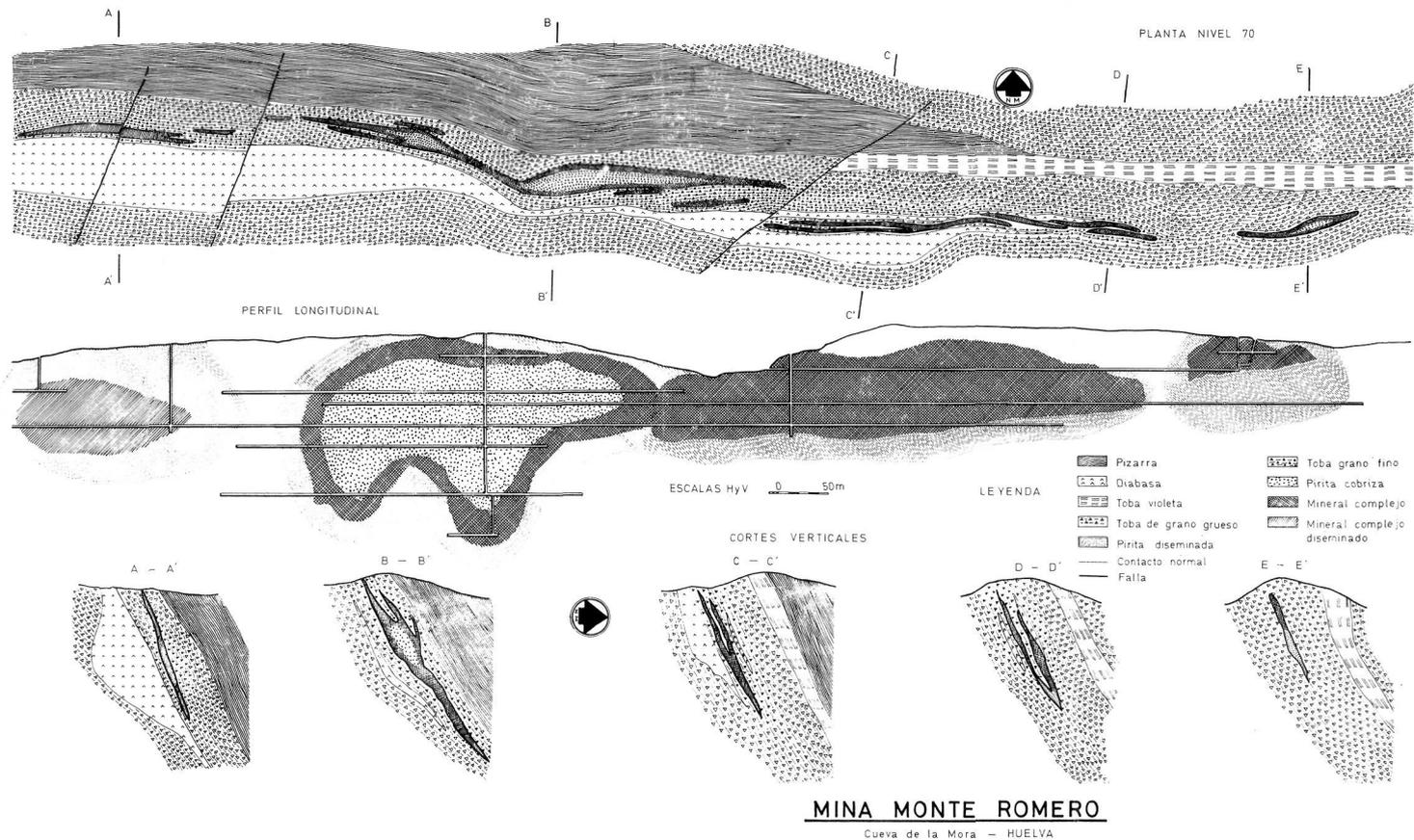


FIG. 11

YACIMIENTO: Cueva de la Mora.

SITUACIÓN { Geográfica: Hoja n.º 938.—Nerva.
 Coordenadas: 37º 47' N.—3º 8' 10" O.
 Geológica: Flanco N. del sinclinal de Río Tinto.
 Local: 1.8 km. O. de Cueva de la Mora.
 Paraje: Castillejito.
 Actual: Parada.

MORFOLOGÍA: Lentejón deformado, estratiforme, concordante.

Número de masas: 1.

G E O M E T R I A					
DENOMINACIÓN:	Metros			Dirección	Buzamiento
	L	A	P		
C. de la Mora	350	60	200	E - 10º S.	65º N.

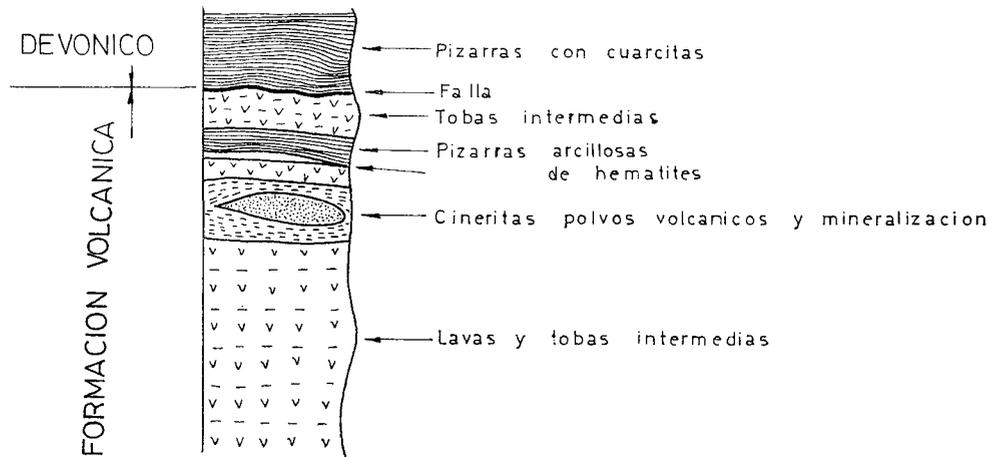
ENTORNO GEOLÓGICO: Flanco N. de un anticlinal, fallado al contacto con las pizarras devónicas.

Hastiales { Techo: Tobas finas y pizarras grafitosas.
 Muro: Polvo volcánico y tobas ácidas.

Rocas encajantes... { Techo: Polvo volcánico, cineritas y pizarras grafitosas, polvo de hematites, pizarras arcillosas y tobas dacíticas.
 Muro: Cineritas, dacitas, basalto.

FIG. 12

ESTRATIGRAFÍA: El Carbonífero que cubre las lavas y tobas intermedias, corresponde a otro flanco de un anticlinal que debe existir entre éstas.



TECTÓNICA: Fallas transversales de poca importancia que afectan muy poco al desplazamiento de la masa.

Situación de las masas: Concordante con la estratificación.

Fallas longitudinales: No se conocen.

Fallas transversales { Dirección: N. N-E.
Buzamiento: Vertical.

Desplazamiento de la masa: Sin importancia.

FIG. 13

Corte estratigráfico por Cueva de la Mora

TIPOS DE MENA Y MINERALOGIA

METALOGENIA DE LA MINA "CUEVA DE LA MORA"

Mena	Situación	Caracteres macroscópicos	Mineralogía		Ganga	Caracteres microscópicos	Análisis de la mena %
				Tamaño mm.			
Pirita masiva	Toda la masa	Masiva de grano fino	Pi Pr Cp As	0,01 0,5	Q	Texturas coliformes típicas y granos euhedrales. Escasa Cp, B y G. Estructuras cataclásticas.	S = 45,06 Fe = 44,31 Cu = 0,61 Zn = 0,35 Pb = 0,08 SiO ₂ = 1,09
Mineral cobrizo	Amplias zonas del yacimiento	Masivo de grano fino	Pi Pr Cp As	0,01-0,5	Q	Pirita masiva con Cp intersticial a la que corroe parcialmente. La As es euhedral.	S = 42,00 Fe = 41,40 Cu = 1,53 Zn = 0,45 Pb = 0,14 SiO ₂ = 3,24
Mineral complejo	Escaso, en zonas de fractura	Complejo pirítico de grano fino	Pi Cp B G F As	0,01-1,0	Q	Fenocristales alotriomorfos de B y G entre la pirita cooidal y la Cp intersticial. La freibergita destaca por su color verdoso sobre la galena.	S = 37,00 Fe = 36,00 Cu = 1,10 Zn = 8,70 Pb = 5,10 SiO ₂ = 8,20
Azufrón	—	—	—	—	—	—	S = — Fe = — Cu = — Zn = — Pb = — SiO ₂ = —
Mineral diseminado	Periférica	Tobas verdes con Cp	Pi Cp	0,1-2,0	Silicatos	La calcopirita está en filoncillos y en granos alotriomorfos entre la toba.	S = 18,30 Fe = 14,20 Cu = 0,80 Zn = — Pb = — SiO ₂ = 64,30

Pi = Pirita
 Cp = Calcopirita
 B = Blenda
 G = Galena
 As = Arsenopirita
 Co = Covelina
 Cá = Calcosina
 H = Hematites
 Pr = Pirrotina
 Au = Oro nativo
 Th = Tetraedrita
 Tn = Tenanita
 Bo = Bournonita
 F = Freibergita
 Ge = Geocronita
 Q = Cuarzo
 Cc = Calcita
 Af = Anfíbol
 Ser = Sericita
 Cl = Clorita

FIG. 14

ANÁLISIS DE DIFERENTES MUESTRAS DE MINERAL.—CUEVA DE LA MORA

	M U E S T R A N U M E R O									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	45,06	41,98	41,61	46,43	41,00	46,70	38,40	36,70	39,41	41,03
Fe	44,31	41,37	41,67	41,75	38,40	43,00	37,62	36,13	38,15	36,41
Cu	0,61	1,53	1,07	0,63	0,84	1,06	0,85	1,10	1,01	0,79
Zn	0,35	0,45	1,30	1,73	0,36	0,28	9,62	8,70	8,14	11,01
Pb	0,08	0,14	0,39	0,52	0,13	0,06	3,78	5,10	4,12	6,15
As	0,72	1,27	0,84	0,64	0,08	0,61	0,64	0,37	0,41	0,23
Ag. gr/T ...	53	23	—	—	6	16	37	47	31	51
Au. gr/T ...	0,18	0,10	—	—	0,06	0,10	—	—	—	—
CaO	1,52	2,25	2,10	1,53	3,10	1,52	—	—	—	—
MgO	0,76	1,23	0,63	0,51	1,60	0,62	—	—	—	—
SiO ₂	1,09	3,24	3,76	1,34	6,61	2,14	4,77	8,20	5,13	3,27
SO ₄ Ba	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	Trazas	0,80	0,03	0,33	0,78	0,08	—	—	—	—

Muestra n.º 1.—Tomada de la Tesis de A. W. SMITH (1959).
 Muestra n.º 2.—Tomada de la Tesis de A. W. SMITH (1959).
 Muestra n.º 3.—Tomada de la Tesis de A. W. SMITH (1959).
 Muestra n.º 4.—Tomada del libro *Piritas Españolas* (1963).
 Muestra n.º 5.—Nivel 5.º (Pirita masiva).
 Muestra n.º 6.—Nivel 120 (Mineral cobrizo).
 Muestra n.º 7.—Nivel 5.º (Mineral complejo).
 Muestra n.º 8.—Nivel 120 (Mineral complejo).
 Muestra n.º 9.—Nivel 120 (Mineral complejo).
 Muestra n.º 10.—Nivel 120 (Mineral complejo).

A partir de la muestra n.º 5 se han analizado por Asturiana de Zinc, S. A. en Cueva de la Mora.

FIG. 15

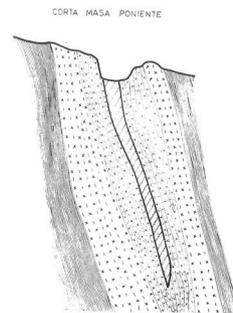
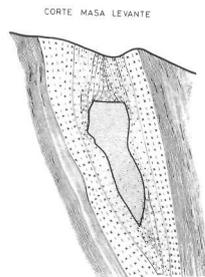
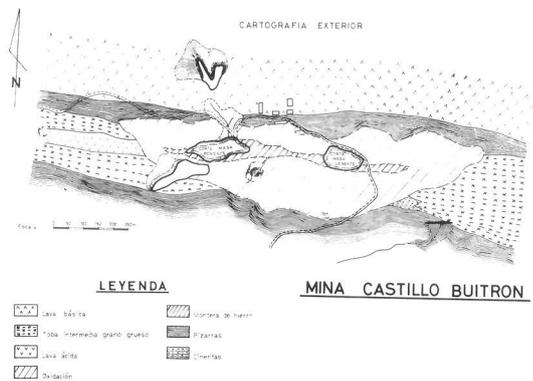
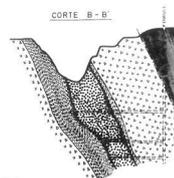
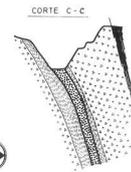
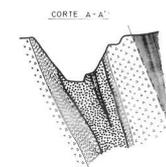
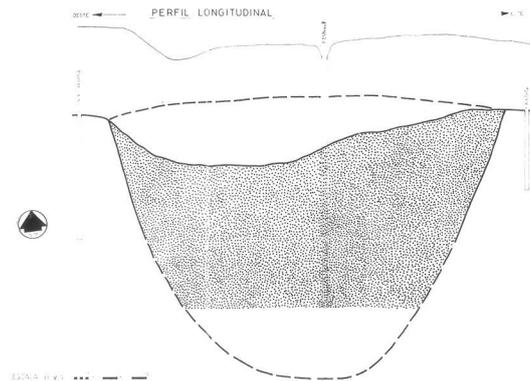
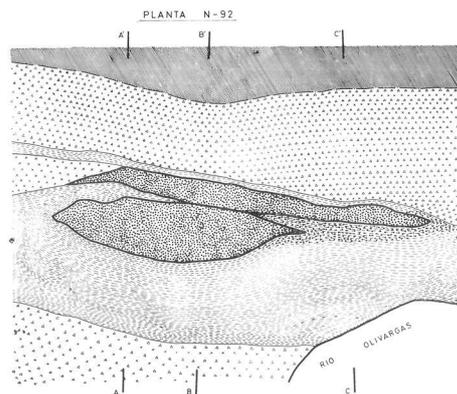


FIG. 16



MINA CUEVA DE LA MORA

FIG. 17

YACIMIENTO: Castillo del Buitrón.

SITUACIÓN { Geográfica: Hoja n.º 960.—Valverde del Camino.
 Coordenadas: 37º 38' 20" - 3º 5' 0".
 Geológica: Flanco N. anticlinal Valverde.
 Local: 7,5 Km. N.O. Valverde.
 Paraje: El Buitrón.
 Actual: Parada.

MORFOLOGÍA: Masas lenticulares aplanadas, interestratificadas separadas unos 300 m. La masa levante no afloró superficialmente.

Número de masas: 2.

	G E O M E T R I A				
	Metros			Dirección	Buzamiento
	L	A	P		
DENOMINACIÓN					
Levante	120	60	150	E - 30° S	65° N
Poniente	165	20	300	E - 10° S	70° N

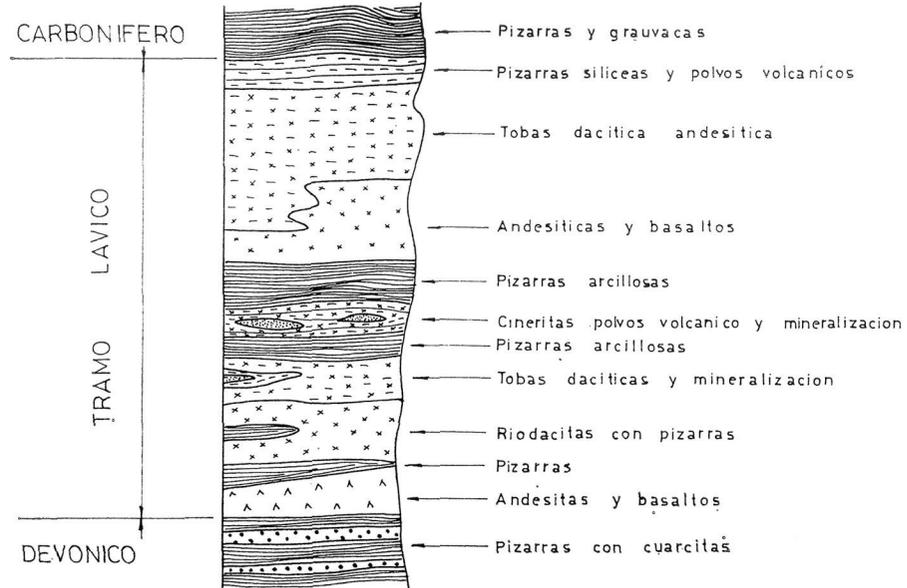
ENTORNO GEOLÓGICO: Lentejón de cineritas y polvo volcánico englobado en un tramos de pizarras arcillosas.

Hastiales { Techo: Cineritas y polvo volcánico.
 Muro: Cineritas y polvo volcánico.

Rocas encajantes ... { Techo: Cineritas, polvo volcánico, pizarras, ande-
 sitas y basaltos, tobas, etc.
 Muro: Cineritas y polvo volcánico, pizarras, to-
 bas dacíticas, riodacitas.

FIG. 18

ESTRATIGRAFÍA:



TECTÓNICA: Poco considerable, fallas trasversales de desgarre con poco salto.

situación de las masas: Flanco Norte anticlinal de Valverde.

Fallas longitudinales: No hay.

Fallas trasversales } Dirección: N.N-E.
 Buzamiento: N.O.

Desplazamiento de la masa: Escaso.

FIG. 19

Corte estratigráfico por Castillo Buitrón

METALOGENIA DE LA MINA "CASTILLO BUITRON" TIPOS DE MENA Y MINERALOGIA (Masa Poniente)

Mena	Situación	Caracteres macroscópicos	Mineralogía		Ganga	Caracteres microscópicos	Análisis de la mena %
			Tamaño mm.				
Pirita masiva	Fajas estratificadas. Muy abundante	Masiva de grano muy fino	Pi Cu Pr	0,03-1,0 0,05 —	Q Ser	Texturas geliformes y pirita euhedral muy pura.	S = 49,20 Cu = 0,40 Pb = 0,10 Fe = 45,40 Zn = 0,20 SiO ₂ = 2,10
Mineral cobrizo	Escaso, entre la pirita masiva	Masiva de grano muy fino	Pi Cu B G	<0,5 <0,1 <0,2 <0,1	Q Ser	Pirita masiva con calcopirita intersticial. Los bordes de la pirita euhedral están ligeramente corroídos.	S = 47,50 Cu = 1,60 Pb = 1,20 Fe = 43,60 Zn = 1,80 SiO ₂ = 3,60
Mineral complejo	Abundante; Fajas de hasta 2 m. de potencia dentro de la pirita masiva	Fajeado de grano muy fino	Pi As Cu B G Pr Th-Tn F Ge	0,005-0,5 <0,2 <0,02 0,2-3,0 0,1-1,5 — — — —	Q Ser Cc Cl	Fenocristales de blenda y galena englobando pirita euhedral, calcopirita intersticial, freibergita y cobres grises. Estos últimos asociados a la galena.	S = 44,40 Cu = 0,60 Pb = 4,20 Fe = 40,30 Zn = 7,50 SiO ₂ = 2,10
Azufrón	—	—	—	—	—	—	S = Cu = Pb = Fe = Zn = SiO ₂ =
Mineral diseminado	Hastiales de masa	Cineritas mineralizadas	Pi	0,2-1,0	Q Ser Cl	Polvo volcánico muy silicificado y cloritizado.	S = 25,40 Cu = 0,30 Pb = — Fe = 18,70 Zn = — SiO ₂ = 52,40

Pi = Pirita
 Cp = Calcopirita
 B = Blenda
 G = Galena
 As = Arsenopirita
 Co = Covelina
 Cá = Calcosina
 H = Hematites
 Pr = Pirrotina
 Au = Oro nativo
 Th = Tetraedrita
 Tn = Tenantita
 Bo = Bournonita
 F = Freibergita
 Ge = Geocronita
 Q = Cuarzo
 Cc = Calcita
 Af = Anfibol
 Ser = Sericita
 Cl = Clorita

FIG. 20

ANÁLISIS DE DIFERENTES MUESTRAS DE MINERAL: MASAS LEVANTE Y PONIENTE

	M U E S T R A N U M E R O									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	48,30	47,60	48,40	44,40	43,00	42,08	42,02	46,13	46,16	43,35
Fe	42,60	43,30	45,30	41,10	49,00	37,00	36,50	40,75	43,75	38,75
Cu	1,40	0,60	0,30	1,50	0,06	0,74	0,44	0,77	0,31	0,39
Zn	0,60	1,20	0,70	0,80	10,10	9,40	12,22	5,06	4,71	0,58
Pb	0,30	0,40	0,50	0,21	4,11	1,95	4,49	1,97	1,12	1,42
As	0,15	0,35	0,46	0,37	0,05	0,31	0,18	0,27	0,21	—
Ag. gr/T ...	17	22	35	32	30	30	79	31	26	—
Au. gr/T ...	0,20	0,20	0,40	0,20	0,60	0,40	—	—	—	—
CaO	1,20	1,30	—	—	—	2,06	—	—	1,61	—
MgO	0,60	0,40	—	—	—	0,56	—	—	0,63	—
SiO ₂	3,40	4,20	2,60	6,20	—	4,60	3,56	4,85	1,66	4,19
SO ₄ Ba	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,95
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Muestra n.º 1.—Nivel 200.—Masa Levante.—Mineral cobrizo.

Muestra n.º 2.—Nivel 200.—Masa Levante.—Pirita masiva.

Muestra n.º 3.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Pirita masiva.

Muestra n.º 4.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Mineral cobrizo.

Muestra n.º 5.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Demuestra medio

de 50 Kgs. de mineral complejo.

Muestra n.º 6.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Sondeo n.º 8. 10-11 m.

Muestra n.º 7.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Sondeo n.º 7. 10,65-11,65 m.

Muestra n.º 8.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Sondeo n.º 7. 28,65-29,65 m.

Muestra n.º 9.—Nivel 200.—Masa Poniente.—Sondeo n.º 5. 11-12 m.

Muestra n.º 10.—Tomado de *Piritas Españolas* de I. PINEDO VARA (1963)

“lavado fino” de la masa Levante.

Los análisis han sido realizados en los laboratorios de ASTURIANA DE ZINC, S. A.

FIG. 21

EL MANGANESO

Dentro de la Faja Pirítica del S. O. Ibérico existe mayor número de yacimientos de manganeso que de pirita. Son yacimientos pequeños, de silicatos y carbonatos, explotados en las zonas de la montera donde se encuentran los óxidos secundarios, pirolusita, manganita, wad, etc. El agotamiento de las monteras y la escasa proporción de Mn en la braunita, rodocrosita y rondonita, unido al estado actual del mercado, justifican la desaparición de explotaciones en la Faja.

Los criaderos de manganeso corresponde a la última fase del episodio volcánico, situándose al mismo nivel o a nivel superior que los sulfuros, asociado a emanaciones silíceas póstumas, siendo sus rocas encajantes tobas, pizarras, polvos de hematites, jaspes y jaspilitas.

Todos los yacimientos tienen, en general, la misma dirección E.O. de las masas de sulfuros, con buzamiento N., adaptados a las estructuras tectónicas de la cuenca. Un gran número se encuentran próximos al contacto de las volcanitas con el carbonífero, aunque existen muchos situados entre las rocas volcánicas.

Dentro de los jaspes manganésíferos es frecuente encontrar estructuras geliformes y de deslizamiento "slumpings" que indican un origen coloidal semejante al de las masas de sulfuros.

GÉNESIS DE LOS YACIMIENTOS DE SULFUROS POLIMETÁLICOS

La génesis de los yacimientos de sulfuros polimetálicos de S. O. Ibérico ha sido motivo de amplias discusiones por numerosos autores. A partir de APPS (1961) y KINKEL (1962), empieza a introducirse la idea de la génesis exhalativo sedimentaria en fondo submarino, idea que en la actualidad es aceptada por la casi totalidad de los autores.

Resulta sorprendente la acumulación de tan enormes cantidades de sulfuros en estado gel procedentes de una sola emisión. Es posible la existencia de varias emisiones sucesivas, separadas por espacios considerables de tiempo, y en algunos casos de otros materiales, comprimidos por las presiones posteriores hasta formar una masa única. La situación de las masas, su textura geliforme, morfología lenticular y en escalón nos induce a pensar en un proceso de deposición como el siguiente:

- Emisión de barros o gases sulfurosos.
- Deposición por gravedad de los barros en la cuenca volcánica.
- Transporte, bien por movimientos tectónicos, disolución en el agua del mar o redeposición.

- Precipitación en condiciones de oxidación-reducción determinadas, formándose los sulfuros complejos.
- Aportes de materiales piroclásticos finos, o sedimentos terrígenos.
- La secuencia puede repetirse varias veces. Aunque su consolidación es aún relativa, es notable las diferencias de rigidez entre los distintos materiales.
- Fin del episodio volcánico con la emisión de materiales silíceos y manganesíferos.
- Nuevo episodio volcánico, o final de la formación con deposición de sedimentos carboníferos.
- Presiones diagenéticas comprimen todos los materiales expulsando lateralmente los menos competentes, formando masas únicas de sulfuros a partir de varias capas. Cuando la expulsión es incompleta aparecen los restos de tobas o pizarras entre la pirita.
- La deposición de los geles sulfurosos en las microcuencas pudo hacerse en fases de tranquilidad o de movimiento convulsivo del fondo de la cuenca, que provocaría una selectividad de los mismos según su densidad, lo que traería como consecuencia la situación marginal de los sulfuros complejos.
- En la situación actual de los yacimientos ha influido poderosamente la orogenia posterior.

ESTADÍSTICA

Para estudiar una provincia metalogénica tan explotada como la del S. O. Ibérico es necesario reunir todos los datos de los yacimientos conocidos. Tarea ardua y difícil realizada por PINEDO VARA (1963) y que nosotros hemos tratado de completar con algunas aportaciones. En el presente resumen daremos únicamente las conclusiones obtenidas.

- Los yacimientos de la Faja Pirítica del S.O. Ibérico son masas de sulfuros polimetálicos concordantes con la estratificación.
- Dentro de las volcanitas existen tres horizontes, inferior, medio y superior. El intermedio se encuentra en cualquier nivel de la formación, siempre al final de un episodio volcánico.
- La situación actual de las masas viene relacionada con la estructura tectónica de la cuenca. Pueden diferenciarse 9 estructuras en las que se encuentran 76 masas entre España y Portugal.
- Por su tamaño —inicial supuesto— distinguimos 4 tipos de masas:

“Muy grandes” superior a 20 millones de Tm.

“Grandes” entre 5 y 20 millones de Tm.

“Medianas” entre 1 y 5 millones de Tm.

Pequeñas” inferiores a 1 millón de Tm.

- Predominan las masas “Medianas”, siendo frecuente también las “Grandes” y “Muy grandes”.
- Las dimensiones medias dependen del tamaño de las masas. La media suele ser:

“Muy Grandes”...	850 x 80 x 350 m. = Longitud x Potencia x Profundidad
“Grandes”	400 x 40 x 260 m. = Longitud x Potencia x Profundidad
“Medianas”	350 x 25 x 170 m. = Longitud x Potencia x Profundidad
“Pequeñas”	200 x 12 x 75 m. = Longitud x Potencia x Profundidad
- En general, la morfología de las masas es lenticular deformada, produciéndose distintos tipos de deformaciones.
- Se pueden diferenciar tres tipos de mena: pirita, mineral cobrizo y mineral complejo, su participación es muy variable, no pudiendo relacionarse con ningún horizonte mineralizado ni con la posición del yacimiento dentro de la Faja.
- Acompañando a los yacimientos de sulfuros se encuentran “azufrones” de pirita grosera y diseminaciones de pirita, calcopirita, blenda y galena en tobas y pizarras volcánicas.
- La dirección general de las masas es la de la estratificación, E.-O. en Huelva y S.E. en Portugal, con buzamientos N. y N.O. respectivamente.
- La mayor parte de los yacimientos conocidos se debe a su afloramiento externo de montera o “capping” de hierro.
- Existe una evidente relación entre los yacimientos de sulfuros y los de manganeso, situándose éstos al techo de los primeros.

POSIBILIDAD DE NUEVOS YACIUMENTOS

En el esquema de la figura 17 se refleja la idea de la situación de los yacimientos de sulfuros polimetálicos dentro de la Faja.

Casi todos los yacimientos de la Faja Pirítica del S. O. Ibérico han sido puestos al descubierto por la erosión, por lo que es de suponer, —siempre que se mantengan las mismas condiciones— la *existencia de nuevos yacimientos* en lugares donde no ha actuado ésta, bien dentro de las volcanitas a profundidades mayores o por debajo de terrenos de recubrimiento posteriores, tales como el Carbonífero y el Pliocuaternario. El metalotecto que rige las mineralizaciones es la Formación Volcánica que alcanza profundidades desconocidas y se extiende debajo de los terrenos más modernos.

Desconocemos la relación que puede existir entre la cantidad de volcanitas expulsadas y las masas de sulfuros, pero es lógico pensar que cuanto mayor sea la superficie de volcanitas sin investigar, tanto mayor es la posibilidad de encontrar nuevas masas. Por ello hemos determinado el tonelaje

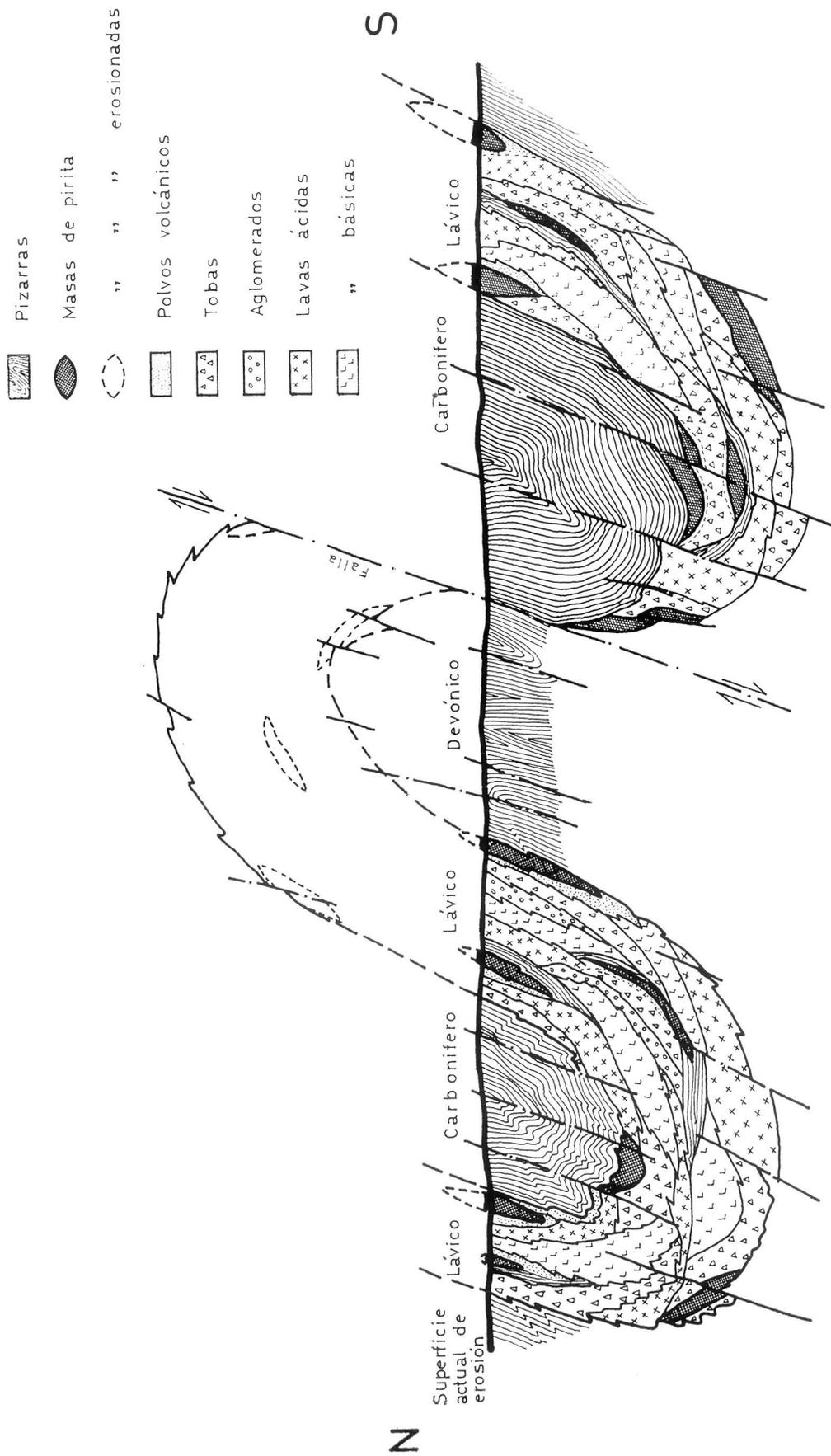


FIG. 22

Esquema de situación de masas de sulfuros polimetálicos dentro del nivel lávico. Se hace notar la posibilidad de masas ocultas y otras totalmente arrasadas por la erosión

de sulfuros polimetálicos conocido en los yacimientos descubiertos, relacionándolo con la superficie de los terrenos de la Faja, llegando a los resultados siguientes (provincia de Huelva solamente):

TONELAJE :

Masas "Muy grandes"	475 millones Tm.
Masas "Grandes"	170 " "
Masas "Medianas"	95 " "
Masas "Pequeñas"	10 " "
TOTAL.....	750 " "

SUPERFICIE :

Devónico	1.383 Km ²
Formación volcánica	695 "
Carbonífero	2.075 "
TOTAL.....	4.153 "

Para un cálculo hipotético vamos a considerar nula la posibilidad de nuevas masas dentro de la Formación volcánica, tomando solamente la superficie cubierta por el Carbonífero. Como es posible que existan áreas debajo del mismo en que no haya volcanitas, tomaremos solamente 1/2 de su superficie:

$$\text{Tonelaje posible} = \frac{2.075 \text{ Km}^2 \times 1/2}{695 \text{ Km}^2} \times 750 \text{ M. Tm.} = 1.125 \text{ M. Tm.}$$

Evidentemente esta es una cifra orientativa y conservadora, ya que no hemos considerado las posibilidades de la Formación Volcánica ni los terrenos Pliocuaternarios, debajo de los cuales puede existir el paleozoico de la Faja.

Relacionando esta cifra con el tamaño de las masas obtenemos:

En masas "Muy grandes"	710 millones Tm.
En masas "Grandes"	255 " "
En masas "Medianas"	145 " "
En masas "Pequeñas"	15 " "

Estas cifras pueden alejarse más o menos de la realidad, no obstante es lógico pensar que *existen muchas posibilidades de nuevas masas*, que es necesario descubrir con la aplicación de las más modernas técnicas de prospección, teniendo siempre en cuenta el criadero mínimo rentable y la profundidad máxima a que debemos llegar con la exploración, así como las limitaciones impuestas en la exploración y explotación de los nuevos yacimientos.

CRIADERO A PROSPECTAR

El objetivo de toda exploración minera es localizar yacimientos económicamente rentables, entendiendo que en la rentabilidad de un yacimiento entran en consideración muchos factores modificables a través del tiempo. El estudio de la rentabilidad de un yacimiento es un proceso muy complejo en el que intervienen diversos especialistas en geología, explotación, economistas, etc., ayudados por ordenadores electrónicos. Sin embargo, al iniciar toda prospección es necesario conocer aproximadamente el yacimiento mínimo rentable, partiendo de supuestos dados en la práctica según la provincia metalogénica de que se trata, tipos de mena, costos de explotación, tratamiento, evolución en el precio de los metales, etc. y demás factores que influyen en el “negocio minero”. Como la minería es uno de los negocios más arriesgados que existen, los márgenes de beneficio deben ser considerables.

Partiendo de una masa con una mineralización de tipo medio en la proporción siguiente:

Mineral cobrizo ...	1,30 %	Cu	50 % de la masa
Pirita masiva.....	46,00 %	S	40 % de la masa
Mineral complejo...	8 %	Zn, 0,9 % Cu, 4 % Pb, 120 g/T.	10 % de la masa

Aplicando las fórmulas corrientes para este tipo de minerales, con un beneficio neto del 12 % anual y un beneficio del riesgo del 20 %, durante la vida de la mina —10 años—, hemos determinado que el yacimiento mínimo a prospectar sería de 8.000.000 de Tm., encontrándose su parte superior a una profundidad máxima de 200 m.

Las dimensiones de esta masa de tamaño “grande” serían de 400 m. de longitud por 40 m. de potencia y 250 m. de profundidad a partir de la profundidad a que se halle. Estas cifras, aproximadas, nos darán idea de la malla que es necesario emplear en cualquiera de los métodos de prospección que se utilicen.

PROSPECCIÓN DE NUEVOS YACIMIENTOS

En la provincia metalogénica de S. O. Ibérico se han usado casi todos los métodos de prospección conocidos, tanto directos como indirectos, en áreas restringidas. En la programación de una campaña de investigación se inicia siempre con los métodos menos costosos que puedan eliminar grandes áreas, aumentando la precisión y costo de los mismos a medida que disminuye el riesgo de la inversión. Al principio se emplean los métodos indirectos que aprovechan las diferencias entre las propiedades físicas o químicas de los yacimientos con sus rocas encajantes, observando sus contrastes.

Los métodos indirectos tratan de determinar áreas donde la posibilidad de encontrar yacimientos es máxima, o eliminar las zonas en que no existen posibilidades de encontrar nuevas masas. Pueden dividirse en métodos Cartográficos, Geoquímicos y Geofísicos.

CARTOGRÁFICOS: La cartografía es imprescindible en toda investigación preliminar para, con los conocimientos actuales sobre la génesis, separar áreas que "a priori" pueden considerarse carentes de mineralización, Devónico, Carbonífero muy potente, determinadas partes de lavas, etc. Existen cartografías a E=1:50.000 y 1:25.000 de la Faja que sirven para una primera aproximación. Para delimitar áreas más concretas donde aplicar métodos indirectos más precisos es necesario realizar cartografía de zonas a escalas 1:10.000 o 1:5.000.

GEOQUÍMICA: La geoquímica tradicional, estratégica o táctica, de elementos mayoritarios como Cu, Pb y Zn, se ha aplicado en la Faja con resultados poco satisfactorios debido a la contaminación producida por los trabajos mineros existentes, fundiciones antiguas, quemas de piritita y diseminación pirítica existente en casi todas las rocas de la Faja. Actualmente está en fase de estudio la mercuriometría que pretende medir el Hg expelido por las masas y que se adhiere a los sedimentos. El problema radica en la escasez de suelos, pues los procedimientos de análisis de Hg han avanzado espectacularmente en estos últimos años.

GEOFÍSICOS: Los procedimientos geofísicos aplicables a la prospección de yacimientos pueden ser: Sísmicos, Magnéticos, Eléctricos y Gravimétricos.

Sísmicos: Miden la propagación de las ondas elásticas engendradas por una explosión de dinamita próxima a la superficie. Es un método muy usado en la prospección petrolífera y en ingeniería civil, pero de empleo muy restringido en exploración minera.

Magnetometría: Mide la intensidad magnética de las rocas y minerales, su uso queda restringido —como método directo— a yacimientos de minerales magnéticos. Dentro de la Faja son muy escasas las masas que contienen pirrotina o magnetita. Puede tener aplicación como método indirecto en cartografía.

Geoeléctricos: Incluimos dentro de este apartado todos los sistemas geofísicos en los que se miden los efectos de la conductividad eléctrica de las rocas producida por el paso de una corriente eléctrica —natural o artificial— a través del suelo. Se agrupan en dos tipos:

— ELECTROMAGNÉTICOS.

— ELÉCTRICOS de corriente continua o alterna de baja frecuencia.

Electromagnéticos: Constituye uno de los grupos de métodos geofísicos más amplio e importantes de la prospección minera. Han sido frecuentemente empleados dentro de la Faja en sus modalidades de Turam, Slimgran, J. E. M., Very Low Frequency (VLF), etc. Todos ellos tienen un inconveniente común, su escasa penetrabilidad debido fundamentalmente a la conductibilidad de las rocas encajantes “efecto skin”. Los resultados obtenidos hasta el presente son poco satisfactorios.

Eléctricos: Dentro de esta serie de métodos podemos incluir Autopotencial, Resistividades, Polarización inducida y Puesta a masa. De todos ellos, los más empleados en la Faja son Resistividades y Puesta a masa.

Resistividades: Con esta técnica electroprospectiva se mide la “resistencia” que opone todo cuerpo al paso de una corriente eléctrica. En la fig. 24 damos las diferentes resistividades de los materiales que componen la cuenca. Ha sido muy empleado en la modalidad de calicatas eléctricas y sondeos eléctricos, con bastante éxito. Tiene la desventaja de su lentitud de medida y la interferencia de pizarras grafitosas, causas muy frecuentes de anomalías.

Puesta a masa: Es una variedad del método de resistividades en el que un electrodo se introduce en una masa conocida, midiendo la caída de potencial a medida que nos alejamos de éste. Es un método muy interesante, pero requiere como condición indispensable la existencia de una masa previa accesible.

Gravimetría: La falta de homogeneidad de la tierra, en la que a volúmenes iguales no corresponden masas iguales, provoca las llamadas “anomalías de la gravedad”. Aprovechando las diferencias de densidad existentes entre los materiales de la Faja —véase fig. 25— se puede utilizar este método como complementario del de resistividades, ya que los parámetros que mide son distintos. No se puede emplear como método primario debido a su coste y a las dificultades de interpretación.

CONCLUSIONES

La Faja Pirítica del S. O. Ibérico es una Provincia metalogénica definida de génesis exhalativo sedimentaria.

A pesar de que sus explotaciones se remontan a tiempos romanos “existen posibilidades de encontrar nuevos yacimientos dentro de las volcanitas y debajo de sedimentos más recientes”.

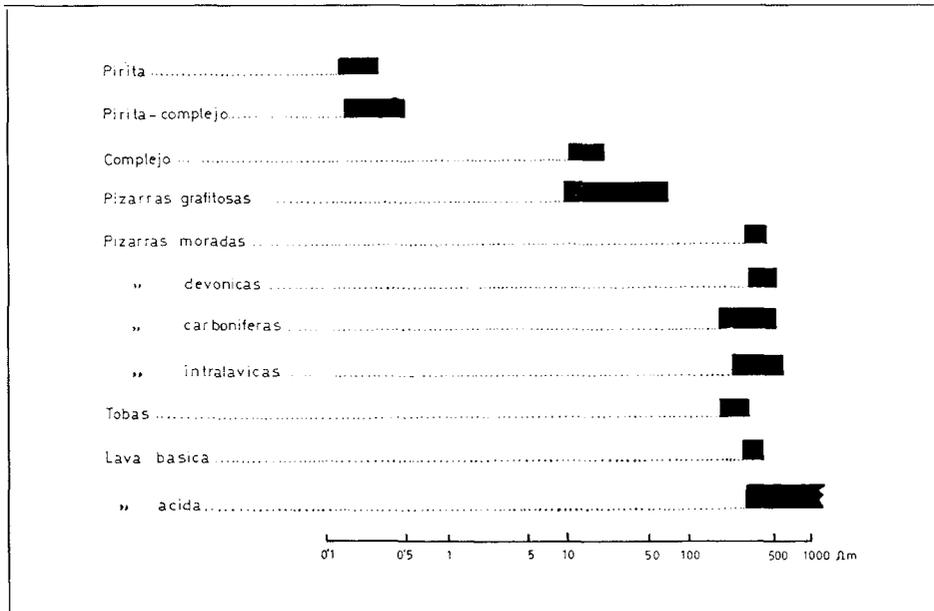


FIG. 24

Límites de variación de la resistividad de cuerpos metálicos y rocas, en la franja pirítica del S.O. Ibérico

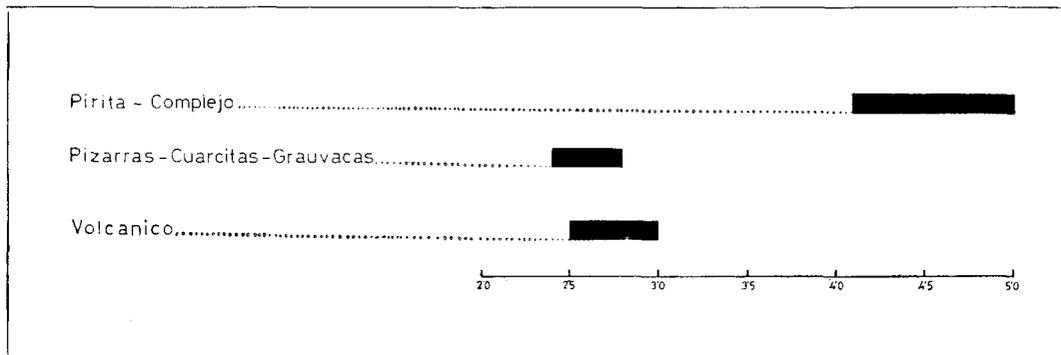


FIG. 25

Límite de variación de densidades en rocas y cuerpos metálicos, en la franja pirítica del S.O. Ibérico

Los métodos de investigación indirectos más idóneos de los aplicados hasta el presente son resistividades y gravimetría. Ello no impide seguir ensayando con nuevos métodos.

Antes de iniciar la campaña de sondeos de reconocimientos, es necesario ensayar con dos métodos que midan parámetros diferentes.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo no hubiera podido llevarse a efecto sin la ayuda de ASTURIANA DE ZINC, S. A. y el DEPARTAMENTO DE MINERALOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Quiero expresar mi agradecimiento al Excmo. Sr. D. FRANCISCO JAVIER SITGES, Con-

sejero Director general de Asturiana de Zinc, S.A. y al Dr. D. ANTONIO ARRIBAS MORENO, Catedrático del Departamento de Mineralogía de la Universidad de Salamanca y Director de la Tesis.

BIBLIOGRAFIA

- ALLAN, J. C. (1946): *The San Telmo Orebody*. Trans. Inst. Min. Met., 55, 339-372. Londres.
- AMSTUTZ, G. C. (1968): *Les laves spilitiques et leurs gîtes minérales*. Geol. Rundschau, 57, 936-954.
- ANDERSON, C. A. y NASH, J. T. (1972): *Geology of the Massive Sulfide Deposits at Jeerome, Arizona*. Econ. Geol., 67, 845-863.
- ANTÓN, F. (1875): *Las minas de la provincia de Huelva*. Rev. Min., 26. Madrid.
- APPS, J. A. (1961): *San Miguel: An account of the Geology, Petrology and Mineralogy of the San Miguel Concessions and Orebodies in the Province of Huelva, Spain*. (Tesis inédita). Londres.
- ARMENGOT, J. (1971): *Hojas geológicas núms. 937, 938 y 960*. Inst. Geol. y Min. Esp. Madrid.
- BARD, J. P. (1969): *Le métamorphisme régional progressif des Sierras d'Aracena en la Andalousie Occidental (Espagne)*. Tesis Doct. Fac. Montpellier.
- BARRINGER, A. R. (1954): *A study of mineralisation in the pyritic deposits of southern Spain and Portugal*. (Tesis inédita). Londres.
- BATEMAN, A. M. (1927): *Ore deposits of the Rio Tinto, Huelva district, Spain*. Econ. Geol., 22, 569-614.
- BERNARD, A. y SOLER, E. (1971): *Sur la localisation géotectonique des amas pyriteux massifs du type Rio Tinto*. C. R. Ac. Sc. Paris, 273, 1087-1090.
- BRETIZELP, D. y FOGlierINI, F. (1971): *Les gîtes sulfurés concordants dans l'environnement volcanique et volcano-sédimentaire*. Miner. Depos., 6, 65-76.
- COLLINS, H. F. (1922): *The igneous rocks of the province of Huelva and the genesis of the pyritic orebodies*. Trans. Inst. Min. Met., 31, 61-169. Londres.
- DEMAY, A. (1926): *Sur la genèse des gisements de pyrite de la région de Huelva*. C. R. Congr. Geol. Int., 2, 1201-1206. Madrid.
- DESPREZ, D. y SOLER, E. (1971): *Les minéralisations pyriteuses et manganésifères liées aux formations volcano-sédimentaires de la province de Huelva (S.W. de l'Espagne)*. Bull. B. R. G. M. (2 s.) 2 (6), 5-16. Paris.
- DEWEY, J. F. y BIRD, J. M. (1970): *Mountain belts and the New Global Tectonics*. Jarn. Geoph. Res., 75, 2625-2647.
- DOETSCH, J. (1957): *Esbozo geoquímico y mineralógico del criadero de piritas "Las Herrerías", Pueblas de Guzmán (Huelva)*. Not. y Com. I.G.M.E., 68, 225-306. Madrid.
- DOUGLAS, G. V. (1929): *On the structural relationships and genesis of pyritic orebodies of Huelva*. Geol. Mag., 66, 313-315. Londres.
- FEBREL MOLINERO, T. (1967): *Estratigrafía, Tectónica y Petrografía en la zona de Calañas (Huelva)*, A.D.A.R.O. Madrid.
- FERNÁNDEZ ALONSO, F. (1972): *Los métodos geofísicos en la cartografía geológica*. Bol. Geol. Min., 83, 66-72. Madrid.
- FINLAYSON, A. M. (1910): *The pyritic deposits of Huelva, Spain*. Econ. Geol., 5, 356-372 y 403-437. Lancaster.

- GARCÍA SALINAS, P. (1964): *Introducción al estudio metalogénico de la mina "La Ratera" de la provincia de Huelva*. Not. y Com. I.G.M.E., 75. Madrid.
- GONZALO TARÍN, J. (1886): *Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*. Mem. Com. Map. Geol. España, 2 tomos. Madrid.
- HEIM, A. (1933): *The cupriferous pyrite ore of Huelva, Spain, a tectonic sketch*. Copper Res. World, 635-648. Londres.
- HEREZA, J. (1926): *Les gisements de pyrite de Huelva*. Exc. Congr. Geol. Intern. 85-138.
- HORIKOSI, E. (1969): *Volcanic activity related to the formation of the Kuroko type deposits in the Kosaka district, Japan*. Miner. Dep., 4, 321-345.
- HUTCHINSON, R. W. y SEARLE, D. L. (1971): *Strata-bound pyritic deposits in Cyprus and relations to other sulfide ores*. Soc. Min. Geol. Japan. Spec. Issue, 3, 198-205.
- I.G.M.E. (1970-72): *Mapas geológicos escala 1:200.000 de Puebla de Guzmán, Ayamonte y Sevilla*. I.G.M.E. Madrid.
- JENKS, W. F. (1971): *Tectonic transport of massive sulfide deposits in submarine volcanic and sedimentary host rocks*. Econ. Geol., 66, 1215-1224.
- KINKEL, A. R. Jr. (1962): *Observations on the massive pyritic deposits of the Huelva district, and their relations to volcanism*. Econ. Geol., 57, 1071-1080.
- KUNO, H. (1967): *Differentiation of basalt magmas*. Hess and Poldervoert. Ed., 623-688.
- LECOLLE, M. (1970): *Note préliminaire sur le métamorphisme et la tectonique de la province pyrito-cuprifère d'Huelva, Espagne. Conséquences pétrologiques*. C. R. Ac. Sc. Paris, 270, 1563-1566.
- LUSK, J. (1972): *Examination of volcanic-exhalative and biogenic origins for sulfur in the stratiform massive sulfide deposits of New Brunswick*. Econ. Geol., 37, 169-183.
- MAC GUILLAVRY, H. J. (1961): *Deep or not deep, fore-deep or after-deep*. Geol. Minjub, 40, 133-148. Amsterdam.
- MESEGUER PARDO, J. (1950): *El manganeso en la provincia de Huelva*. Not. y Com. I.G.M.E., 20, 2-28. Madrid.
- OFTEDAHL, C. (1958): *A theory of exhalative-sedimentary ores*. Geol. För. Förh., 80, 1-19. Estocolmo.
- PINEDO VARA, I. (1963): *Piritas de Huelva (su historia, minería y aprovechamiento)*. Ed. Summa. Madrid.
- RAMBAUD PÉREZ, F. (1969): *El sinclinal carbonífero de Río Tinto (Huelva) y sus mineralizaciones asociadas*. Bol. Geol. y Min., 71. I.G.M.E. Madrid.
- ROCCI, G. y JUTEAU, T. (1968): *Spilites-kératophyres et ophiolites. Influence de la traversée d'un socle sialique sur le magmatisme initial*. Geol. Minjb., 47, 330-335.
- ROCHA GOMES, A. A. (1958): *The discovery of new orebody within the pyritic belt of Portugal by electromagnetic prospecting*. Geophys. Surv. Min. Hydro. Eng. Prospec. (Porto).
- ROSSO DE LUNA, I. (1941): *Algunas características mineralógicas de la pirita, calcopirita y blenda de Río Tinto*. Bol. I.G.M.E., 55, 1-28. Madrid.
- SCHALAMUK, I. B. (1972): *Metalogenia del yacimiento de piritas de La Lancha, su encuadre geológico en el distrito de Río Tinto*. Tesis doctoral. Salamanca.
- SCHERMERHÖRN, L. J. G. (1971): *An outline stratigraphy of the Iberian Pyrite Belt*. Bol. I.G.M.E., 82, 23-52. Madrid.
- SMITH, A. V. (1959): *The geology of Cueva de la Mora Mine*. Tesis doctoral inédita.

- SOLER, E. (1969): *L'association spilites-kératophyres de la province de Huelva (Espagne)*. Inédito.
- STRAUSS, G. K. (1970): *Sobre la geología de la provincia piritífera del S.O. de la Península Ibérica y de sus yacimientos, en especial sobre la mina de pirita de Lousal, Portugal*. Mem. I.G.M.E., 77. Madrid.
- TATSUMI, T.; SEKINE, Y. y KANEHIRA, K. (1970): *Mineral deposits of volcanic affinity in Japan: Metallogeny*. Volcanisme and Ore Genesis Edit. Tatsuo Tatsumi. Tokio.
- VAN DEN BOOGART, M. (1967): *Geology of the Pomarao Region (Southern Portugal)*. Tesis Doc. Graf. Cen. Distr. Rotterdam.
- VÁZQUEZ DE GUZMÁN, F. (1969): *Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja n.º 918: Santa Olalla del Cala*. I.G.M.E. Madrid.
- WILLIAMS, D. (1934): *The geology of the Rio Tinto Mines, Spain*. Bull. Inst. Min. Met., 355, 1-48; y 362, 21-35. Londres.

(Recibido el 11 - XI - 74)