

MARCO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DE LOS YACIMIENTOS DE SULFUROS DE AZNALCOLLAR (REGION ORIENTAL DE LA BANDA PIRITOSA IBERICA).

J. L. Hernández Enrile (\*).

(\*) Cátedra de Geodinámica Interna. Universidad Complutense de Madrid.

Resumen

El presente trabajo concierne a la aplicación de estudios geológicos y tectónicos en la prospección minera de determinadas masas de sulfuros en Aznalcollar, región oriental de la Banda Piritosa Ibérica. Del análisis de datos petroglógicos, sedimentarios y tectónicos, se ha podido establecer : 1º) El control estratigráfico y las facies favorables de las rocas encajantes de las masas de sulfuros. 2º) La estructura imbricada como resultado de deformación polifásica. Se describe las diferentes relaciones entre el plegamiento y cabalgamientos. 3º) Secuencia litoestratigráfica del complejo volcánico sedimentario de la zona, a partir del cual, las masas de sulfuros al sur (Higuereta-Cuchichón) y la del norte (Caridad) corresponden a un mismo horizonte mineralizado.

Abstract

The present work is concerned to the application of the geological-tectonic studies on mining prospection of specified massive sulphide orebodies from Aznalcollar - area, eastern region of the Iberian Pyrite Belt.

Analyses of petrological, sedimentary, and tectonic data, have made known : 1º) The lithostratigraphic controls and favourable facies of the close host-rocks. 2º) The imbricated structure as result of poliphase deformation, in which the relationships between folding and thrusting are debated. 3º) Lithostratigraphic sequence of volcanic-sedimentary complex, in which massive sulphide orebodies on the north side of the Aznalcollar area (Caridad Mine) and (Higuereta-Cuchichón Mines) to the south, are related to the same volcanic-sedimentary layer.

INTRODUCCION

Previo a la explotación actual a cielo abierto de los yacimientos de sulfuros en la zona de Aznalcollar, se llevaron a cabo diversas investigaciones con el objeto de conocer primero, las re-

servas de pirita en dicha zona, y segundo, las posibilidades mineras en áreas limítrofes a las antiguas explotaciones correspondientes a las concesiones de APIRSA. Estas investigaciones fueron realizadas en diferentes etapas por la Compañía General de Sondeos, S. A. a partir de 1972. En aquel mismo año, en colaboración con L. López Vilchez en trabajos de campo y M. Aguilar en trabajos de laboratorio y bajo la dirección de C. Felgueroso Coppel (+), realizamos un estudio geológico estructural de detalle acompañado de una cartografía geológica a escala 1:10.000 de la zona de Aznalcollar, representada parcialmente y corregida (1979 1980) en la figura 1. El fin fundamental del citado trabajo fué por una parte, estudiar el marco geológico-estructural de los yacimientos de Mina Caridad al norte, e Higuereta-Cuchichon al sur. En segundo lugar, conocer y prever la posibilidad de que continúase la mineralización lateralmente de dichos yacimientos, y en consecuencia la designación de nuevas áreas favorables de mineralización para ser objeto de posteriores etapas de prospección - geofísica.

En este sentido, de las conclusiones que expusimos en nuestro trabajo (1972-73), se recomendó proyectar una campaña de prospección geofísica en zonas situadas al este de las explotaciones conocidas, (vease J. L. Coullaut et al 1975) y más concretamente hasta quinientos metros al este del pozo San José (Mina Caridad) y en la zona del Arroyo de los Frailes, donde la unidad volcánico-sedimentaria está parcialmente cubierta por los materiales del mioceno. Del estudio geofísico en las citadas zonas, se obtuvieron resultados positivos, los cuales se confirmaron mediante sondeos mecánicos al cortar una masa de sulfuros de 30 metros de espesor (J. L. Coullaut et al 1975).

Por lo que se refiere a los resultados que obtuvimos de índole geológico-estructural, representados parcialmente en la cartografía geológica actual (figura 1), se puso de manifiesto por primera vez una secuencia litoestratigráfica de la formación volcánico-sedimentaria a la que están vinculados los yacimientos de sul

furos de Aznalcollar. Por otra parte, se dió a conocer las estructuras de deformación y fases tectónicas que las dieron origen. Todos estos resultados fueron ya expuestos por (J. L. Coullaut et al 1975), conservando incluso la simbología de la serie litoestratigráfica a la cual nosotros nos referimos para su descripción, a excepción de la serie de rocas volcánicas de composición intermedia y básica, que según la interpretación de dichos autores definen el techo de la unidad volcánico-sedimentaria.

En estos últimos años, aunque no de manera periódica, hemos continuado las investigaciones con el objeto de contribuir al conocimiento del marco geológico de las masas de sulfuros de Aznalcollar. Del estudio de detalle de las facies y de las estructuras de deformación, se podrá obtener una explicación de las condiciones de yacimiento de las masas de sulfuros en este sector de la Banda Piritosa.

Es bien conocido que todas las explotaciones de pirita de la provincia de Huelva y sur de Portugal, se refieren a un sólo nivel y en el caso de que existan varios, se interpretan como una sola capa plegada, como por ejemplo en la Mina de Herrerías de Puebla de Guzman (Huelva) (T. Febrero, 1972). Esto fué una de las razones que nos indujo en nuestra primera interpretación, situar las rocas básicas que afloran en el sector norte de Aznalcollar a muro de la serie volcánico-sedimentaria, a fin de correlacionar a través de una estructura sinclinorial, el nivel de la Mina Caridad con el de Higuera Cuchichón. El horizonte piritífero al encontrarse emplazado en una posición intermedia del complejo volcánico-sedimentario, los tramos infrayacentes o basales cambiarían lateralmente de norte a sur, mientras que los tramos superiores de rocas volcánicas acidas ocuparían el núcleo del sinclinal. Ello implicaría que las capas mineralizadas de pirita y los niveles riolíticos superiores, representaran una serie común para ambos flancos, en los que aparecería la serie basal volcánica con facies diferentes.

Sin embargo de acuerdo con la estructura sinclinorial asimétrica e imbricada con que son afectados los materiales del complejo volcánico-sedimentario, se reconoce en este trabajo que los tramos superiores que yacen hacia el techo del citado complejo volcánico, están representados por dacitas, cineritas y tufitas verdes y violaceas a las que se superponen volcanitas básicas - (figura 1). Esto fué puesto de manifiesto por Coullaut, J. L. et al (1975), al situar estos materiales volcánicos por encima del último horizonte de los siete que diferenciamos en nuestro primer trabajo, a partir de la sucesión del flanco sur del sinclinalio a lo largo del río Crispinejo.

Por otra parte, el hecho de que estos autores relacionen la masa de sulfuros de Mina Caridad con la denominada unidad norte, supone admitir que los yacimientos de pirita de Mina Caridad y la masa del filón sur Higuereta-Cuchichón distantes entre sí - unos setecientos metros, no sólo estarían asociados a horizontes distintos en la serie, sino que también a secuencias volcánico-sedimentarias de facies y posiciones diferentes. Ello plantea un marco geológico nada común para un mismo sector minero - de la Banda Piritosa.

Por lo que se refiere al trabajo de tesis de Hofstetter, J. P. (1980) sobre el estudio de los yacimientos de Aznalcollar, llega a conclusiones que difieren de las nuestras fundamentalmente en la estratigrafía y estructura tectónica del Complejo volcánico-sedimentario. La interpretación que establece dicho autor para explicar la deposición de masas de sulfuros del filón sur - (Higuereta-Cuchichón) bajo control paleogeográfico, discrepa de nuestra interpretación, por cuanto a que las rocas dacíticas - que bajo su concepto yacen en la base del complejo volcánico - con carácter subintrusivo y configurando dos áreas de sedimentación diferentes, definen para nosotros con la volcanitas básicas, el techo de la secuencia volcánico-sedimentaria.

Estos y otros puntos de la geología de Aznalcollar serán expuestos y discutidos en este trabajo, pués independientemente de - los objetivos ya señalados, pretende ser una contribución que -

permite clarificar aquellos aspectos básicos para un mejor cono-  
cimiento del marco geológico de los yacimientos de sulfuros de  
Aznalcollar.

#### SITUACION GEOLOGICA REGIONAL DE AZNALCOLLAR.

La zona de Aznalcollar está situada en el extremo oriental de la Banda Piritosa del Suroeste Peninsular Ibérico (figura 1). Esta conocida denominación del segmento más meridional de la Cadena Hercínica Ibérica, responde a una estrecha zona eugeosininal para los tiempos del paleozóico superior, con la particularidad de que asociado a los depósitos devónico-carboníferos, existe un volcanismo bimodal con el que genéticamente están relacionados masas estratiformes de sulfuros. Esto explica que se considere una de las provincias metalogénicas más importantes de Europa en cuanto a extensión se refiere. Se trata de una cuenca longitudinal, que se extiende con dirección hercínica WNW-ESE y flanqueando en su borde norte los macizos de materiales más antiguos correspondientes al denominado geoanticlinal de Beja-Aracena.

En cuanto a la sucesión litoestratigráfica regional, - se ha venido reconociendo por todos los autores que han trabajado en la Banda Piritosa, tres grandes grupos o unidades litoestratigráficas. La más antigua está constituida por una secuencia muy monótona de pizarras y cuarcitas. En el techo de esta formación aparecen intercalaciones exporádicas de horizontes calcáreos frecuentemente con restos de crinoides y conodontos, - que sirvieron para obtener la edad de esta unidad, junto con otras faunas (Climénidos) encontradas en niveles equiparables estratigráficamente a los horizontes calcáreos e incluso inferiores, (Pruvost-1912, Meseguer Pardo-1945, Doetch-1953, Hollin-guer-1959, etc.). La clasificación de la citada fauna, indica que el techo de esta formación pizarrosa equivalente al Grupo Filito-Cuarcítico (Schermerhorn-1969-1970), es de edad Famenien

se o Devónico superior.

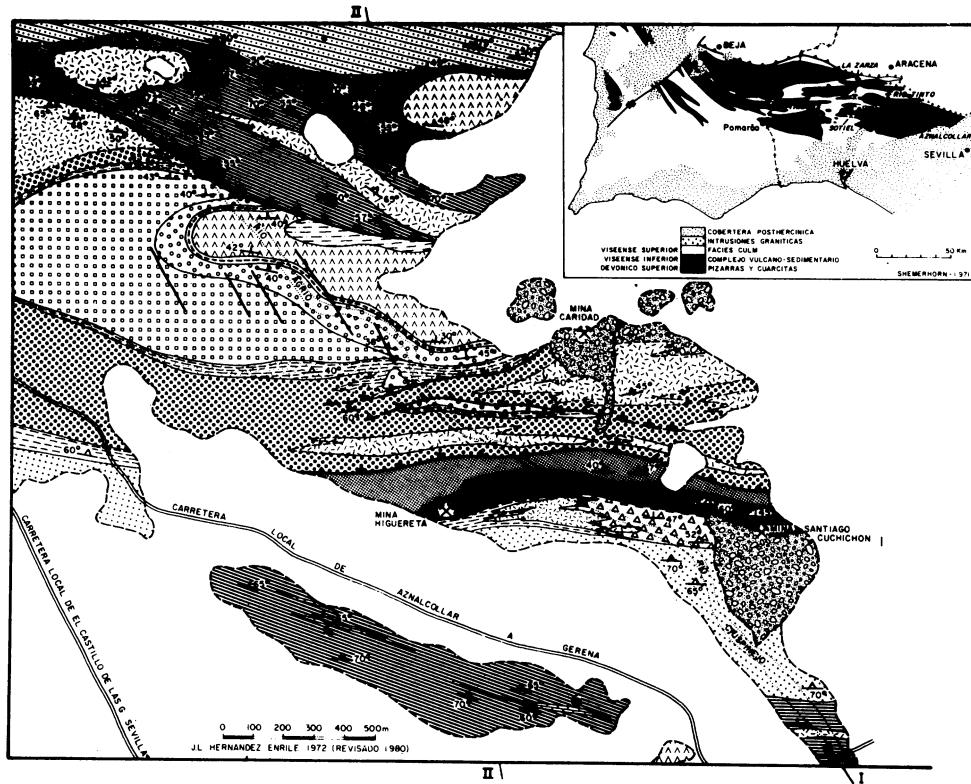
Por encima de la formación pizarrosa-cuarcita yace el complejo volcánico-sedimentario, caracterizado fundamentalmente - por la variedad de litofácies de rocas volcánicas que imprimen el carácter bimodal y heterogéneo del mismo.

El hecho de que esta formación repose sobre los materiales del Devónico-superior, fué la causa principal de haberse considerado inicialmente como una serie de transición al carbonífero. La mayoría de los autores apoyados en la situación estratigráfica que ocupa el Complejo volcánico-sedimentario así como la fauna encontrada en el mismo, lo consideran de edad Turnaisiense. Van den Boogaard (1963-1967) indica que esta formación puede iniciarse en el Turnaisiense y llegar hasta el Viseense.

Por último, el techo de la serie litoestratigráfica está - definido por una sucesión muy monótona de pizarras con grauvacas y episodios cuarcíticos interestratificados que responden a la - fácies Culm. Por lo que se refiere a la edad de esta formación, es de antiguo conocida la fauna de Posidonia y Goniatites encontrada en numerosas localidades, la cual parece corresponder se-gún su clasificación al Viseense superior.

De toda esta secuencia se deduce que en el transcurso de - la etapa geosinclinal, hubo un periodo de sedimentación continua desde el Devónico superior al Carbonífero inferior, excepto en - aquellas áreas que quedaron dentro del campo de acción de los focos eruptivos y cuyos productos efusivos desplazaron en importancia la deposición de sedimentos. No obstante, coexisten con es-tos, materiales volcánicos producto del transporte seguido por - redeposición a distancias variables de su fuente de origen, con - características y estructuras semejantes a las de los depósitos sedimentarios.

Desde el punto de vista tectónico, en toda la Banda Piritosa se manifiesta una compleja estructura imbricada como resultado de dos fases principales de plegamiento sin-esquistosas, acom-



## SIGLOS CONVENCIONALES

- Contacto normal
- — — Contacto supuesto
- — — — Contacto por discordancia
- ▲ ▲ ▲ Falla inversa, cabalgamiento
- ▲ ▲ ▲ ▲ Falla inversa y cabalgamiento supuesto
- ▲ ▲ Dirección y buzamiento de estratificación
- ▲ ▲ ▲ Dirección y buzamiento de esquistosidad (S-1)
- ▲ ▲ ▲ ▲ Dirección y buzamiento de esquistosidad (S-2)
- Fósiles
- ⛏ Mina

## LEYENDA

		Escombreras.
MIOCENO		Conglomerados, margas y calizas.
CARBONIFERO		Tufitas, cineritas violaceas, pizarras siliceas.
VISEENSE INFERIOR Y MEDIO		Andesitas con jaspes y cherst intercalados.
		Cineritas violaceas y verdes, tufitas con cherts y jaspilitas.
		Autobrechas y pórfitos dacíticos.
		Pizarras con tufitas y jaspe rojos.
		Tobas y lavas riolíticas con jaspe rojos.
		Pizarras siliceas, tufitas, riolitas ofeníticas, jaspilitas lenticulares (en la base).
		Tobas riolíticas (autobrechas), tufitas y esquistos cloríticos violaceos y verdes con bandas siliceas-vitreas lenticulares.
		Riolitas y pizarras siliceas negras con mineralizaciones de calcopirita hacia el techo.
		Cineritas, pizarras negras con nódulos siliceos y riolitas con intercalaciones de pirita.
		Tufites cloríticas y cineritas siliceas moradas y verdosas con intercalaciones de cherts y jaspites lenticulares en la base.
		Pizarras carbonetadas en transito lateral a epiclastitas.
		Riolites ofeníticas con intercalaciones de pizarras y en transito lateral a brechas volcánicas.
		Pizarras siliceas y tufitas con intercalaciones de cherts ferruginosos.
		b) Pizarras con intercalaciones de calizas, rocas básicas y Epiclastitas tufíticas al techo.
		c) Pizarras sericiticas con intercalaciones de tobas riolíticas, grauvacas y lentejones calizos (serie de transición).
DEVONICO SUPERIOR (Fameniense)		Pizarras y cuarcitas con esporádicos lentejones de calizas.

pañadas de fallas inversas y cabalgamientos con vergencia sur-oeste. La primera fase coetanea con el metamorfismo regional de facies de esquistos verdes, se ha considerado del Wesfaliense me dio por Schermerhorn, L. J. (1971).

#### LITOESTRATIGRAFIA

Pretender establecer y llevar a cabo un estudio de detalle de la sucesión litoestratigráfica en cualquier zona del segmento - Piritoso Ibérico, implica una singular dificultad como se puede desprender de las diferentes conclusiones que en este sentido llegan a veces los autores. Esto es debido fundamentalmente a la escasez de niveles con restos fósiles, a los cambios laterales y heterogenidad de las facies de la unidad volcánico-sedimentaria, así como por la compleja estructura de deformación. Por ello, consideramos que la aplicación conjunta de criterios sedimentarios y tectónicos sumados a estudios petrológicos, son imprescindibles para no incurrir en errores a la hora de establecer la polaridad de la serie litoestratigráfica.

En este apartado haremos una descripción de la secuencia litoestratigráfica de la zona de Aznalcollar, a fin de poner de manifiesto la relación espacio temporal que existe entre los horizontes volcánicos y las asociadas masas estratiformes de sulfuros de Caridad e Higuereta-Cuchichón. Dicha descripción que expondremos de forma resumida por la limitación de espacio en el presente volumen, es acompañada de la cartografía que realizamos a escala 1:10.000 (figura 1) así como de cortes geológicos. De esta forma no restará lograr la aportación que nos hemos propuesto, en el estudio del marco geológico de los yacimientos de sulfuros de Aznalcollar. No obstante por la importancia que ello implica, la sucesión litoestratigráfica de Aznalcollar es objeto de una exposición con más detalle en otro trabajo.

Según las consideraciones referentes a la estratigrafía regional de la Banda Piritosa reseñadas anteriormente, en el área de estudio se manifiestan dos de las tres unidades o formaciones -

citadas: la unidad pizarrosa-cuarcítica (Devónico superior) y la unidad volcánica-sedimentaria (Carbonífero inferior).

Unidad pizarrosa - cuarcítica (Devónico-superior).-

En el área de estudio está representada al norte por una estrecha franja (figura 1), la cual representa el borde meridional de un amplio afloramiento que con dirección general WNW-ESE se extiende al norte de Aznalcollar.

La litología de esta formación está caracterizada por una - potente sucesión de pizarras grises y negras, con algunos tramos más siliceos y conteniendo milimétricas bandas samíticas con alto contenido de cuarzo. Dentro de esta secuencia pelítica se intercalan capas cuarcíticas con potencias normalmente no superiores a 0,30 metros, con alternancia a veces casi rítmica. Aunque no son frecuentes, aparecen lentejones de calcoesquistos intercalados hacia el techo de la formación. Escasos afloramientos dispersos de tobas riolíticas (cruce de carreteras del Alamo con la de Castillo de los Guardas) así como rocas básicas al norte de - la zona de estudio, yacen en los límites con la unidad superior volcánico-sedimentaria.

La edad de esta formación se atribuye al devónico superior por la equiparación de facies con otras formaciones semajantes, en las que hacia el techo, aparecen lentejones calizos con restos fósiles de crinoides y conodontos. Recientemente Hofstetter, J. P. (1980), confirma la edad fameniente para esta unidad, a partir del estudio faunístico realizado por Stoppel, D. en los lentejones calizos que yacen al NW de Aznalcollar. No obstante, aún siendo objeto de otro trabajo, es importante señalar, que los límites de estas facies no son estables ni constantes, de forma que pueden tener una dispersión en la vertical con la consiguiente variación en la edad.

## Unidad volcánica-sedimentaria (Carbonífero inferior).-

Por encima de la formación pizarrosa-cuarcítica, yace la unidad volcánica-sedimentaria caracterizada por la heterogeneidad de sus facies y notables cambios de espesor. Estudios litotratigráficos de detalle, junto con la aplicación de criterios sedimentarios y tectónicos, nos han permitido diferenciar varios grupos litológicos o formaciones cuya secuencia litoestratigráfica de muro a techo es como sigue :

### 1º) Serie de transición pizarrosa-tufítica.-

Al norte de la zona cartografiada (figura 1), aparece una formación predominante pelítica, cuyo límite inferior en contacto con las pizarras y cuarcitas del Devónico es difícil de establecer, debido a la transición gradual de sus facies. Se trata de una serie de pizarras sericiticas grises azuladas y negras en la base, mientras que hacia el techo son más siliceas, al tiempo que se intercalan de forma muy irregular tramos tufíticos, grauvacas siliceas y niveles con espesores centimétricos de cherts. Junto a estos últimos se localizaron lentejones de escasa potencia de calizas ferruginosas brechificadas. Tobas riolíticas interestratificadas en capas discontinuas y poco potentes, así como sills de rocas básicas, ponen de manifiesto el comienzo de la actividad volcánica.

Esta serie de transición yace en posición invertida - buzando al norte y forma parte del flanco septentrional de la estructura sinclinal del complejo volcánico-sedimentario de Aznalcollar. Por otra parte, se encuentra afectada por el cabalgamiento que con dirección oblicua a la misma y vergente al Sur, - separa la Unidad Norte a la que queda vinculada, de la Unidad Crispinejo, (Coullaut, J. L. et al 1975).

### 2º) Formación pizarrosa-tufítica (Viseense inferior).-

Al sur de la zona de estudio (figura 1), aparece una formación de características semejantes a las de la Serie de Transición. Se trata también de una secuencia fundamentalmente -

pelítica, cuyo contenido en silice y participación volcánica crece hacia el techo. Las pizarras grises arcillosas de la base, al igual que las de la Serie de Transición del dominio norte, e incluso que las de los tramos pelíticos del Devónico superior, presentan intercalaciones milimétricas de naturaleza samítica-silicea. Esto sumado a la semejanza del material pelítico y microestructural, motiva una similitud de facies entre estas formaciones en contraste con aquellas otras que caracterizan el carbonífero de la región, ya sean interestratificadas o a techo del Complejo volcánico-sedimentario.

Calizas grises con restos fósiles de crinoides y conodontos aparecen interestratificadas en esta secuencia pelítica. Debido a lo anteriormente expuesto, fueron consideradas en nuestro primer trabajo de edad Devónico superior, si bien advertimos que por su conocida dispersión en la vertical y vinculación en esta zona a un volcanismo incipiente de sills de volcanitas básicas y tobas riolíticas hacia el techo, podrían corresponder a niveles superiores al Devónico. Hofstetter, J.P. (1980), considera la edad de estas calizas del Viseense inferior-medio, a partir de la datación de su contenido en conodontos realizado por Stoppel, D. Ello evidencia que a pesar de los rasgos comunes, esta formación pizarrosa que aflora al Sur del área cartografiada, debe ser superior a la Serie de Transición. Sin embargo no es rechazable una posible asociación o proximidad en el tiempo por cuanto a que según los criterios de polaridad, yace a muro de la secuencia volcánica-sedimentaria del Río Crispinejo (figura 1).

Esta sucesión de pizarras con lentejones calizos pasa gradualmente hacia el techo de la serie a tramos más siliceos en los que aparecen algunas intercalaciones de tobas riolíticas y pizarras tufíticas.

Esta formación pizarrosa-tufítica de edad viseense inferior, forma parte del flanco meridional del sinclinalio en cuyo núcleo se aloja el complejo volcánico-sedimentario de Aznalcoillar. Al tiempo, es probable que constituya una antiforma al es-

tar flanqueada al Sur por volcanitas acidas de la serie superior del Complejo volcánico. Estas últimas se encuentran parcial o totalmente cubiertas por los depósitos del Terciario.

### 3º) Volcanismo acido.-

Por encima de la formación pelítica-tufítica con calizas y sills de volcanitas básicas intercaladas en la base, se manifiesta un primer volcanismo acido representado por un tramo inferior volcánico-clástico y otro superior con lavas y brechas riolíticas. Las rocas volcánico-clásticas corresponden a facies distales epiclásticas y felsíticas con variable participación pelítica de color negro. Tufitas y rocas siliceas (cherts, silty slates, siltstones) son materiales comunes al muro de esta formación volcánica acida.

Por otra parte, las facies que caracterizan el tramo superior, son lavas riolíticas blanco grisáceas y verdosas con textura afanítica. Se presentan en afloramientos masivos, si bien este carácter se pierde lateralmente hacia el oeste al interditar se con pizarras sericíticas negras, o también al pasar en tránsito lateral hacia el este a brechas volcánicas estratiformes. En estas últimas se aprecia una textura fluidal en la matriz, la cual engloba fragmentos de tamaños a veces decimétricos de las lavas riolíticas.

La secuencia hasta aquí descrita de pizarras (viseense - inferior) con sills de rocas básicas y a techo el volcanismo acido esencialmente tufítico, que según nuestra interpretación yace en la base del Complejo volcánico sedimentario, define una de las dos formas características de superponerse esta Unidad al Devónico de la Banda Piritosa (Routhier, P. et al, 1977).

### 4º) Serie intermedia .-

Con esta denominación se pone de manifiesto una sucesión volcánico-sedimentaria de facies heterogénea, que subyace bajo un segundo episodio de volcanismo acido. Se trata del mismo grupo litológico portador de las mineralizaciones de sulfuros, citado ya

de igual manera por otros autores (Routhier, P., et al, 1977) al estar limitado a muro y techo por rocas volcánicas acidas.

Superponiéndose directamente a las tufitas, lavas y brechas riolíticas del primer volcanismo acido, aparecen pizarras - negras sericíticas cuyo contenido en carbonatos de algunas capas pueden llegar a alcanzar el carácter de calcoesquistos. Los niveles basales pasan lateralmente hacia el Este a epiclastitas. Hacia lo alto de la serie y en pocos metros, las pizarras son - más siliceas coincidiendo con la presencia de nódulos siliceos al tiempo que se intercalan con cineritas y tufitas siliceas de colores violaceos y verdes, estos últimos debido a su contenido en clorita. Junto con estos materiales aparecen interestratificados niveles centimétricos y milimétricos de cherts y jaspes.

Criterios sedimentarios y tectónicos, sitúan claramente a techo las pizarras siliceas negras que constituyen junto con capas discontinuas de riolitas, las rocas caja de las mineralizaciones de sulfuros. En efecto, las pizarras siliceas negras - en las que se interestratifica la principal masa de sulfuros, yacen en contacto directo sobre bancos riolíticos con alto contenido por alteración de óxidos de hierro.

Estos episodios riolíticos discontinuos y con espesores de uno a dos metros, revelan una clara asociación con las - mineralizaciones y las rocas caja pizarrosas. A estas masas de sulfuros de filón sur y silillo, corresponden las antiguas explotaciones mineras de Higuereta y Cuchichón.

La serie continua hacia el techo con un tramo brechificado de pizarras siliceas y lavas riolíticas negras esquistosadas, junto con materiales de naturaleza vitroclástica y arcillosa con cloritas. Mineralizaciones de sulfuros de cobre predominantemente, aparecen en capas milimétricas interestratificadas o diseminadas en la matriz silicea de las rocas volcánico-clásticas, pero con tendencia a concentrarse según bandas o lechos paralelos a la estratificación. Estos sulfuros sinsedimentarios se encuentran afectados por las primeras fases de plegamiento -

sin-esquistosas.

La facil movilidad de estas mineralizaciones y la singular tectonización de este horizonte volcánico, explica que aparezcan estas en los planos de esquistosidad preferentemente ( $S_1$ ) de primera fase, así como en venas atendiendo a una red de diaclasisado con cuarzo, la cual corta las estructuras de plegamiento y - esquistosidad. No obstante, existen venas deformadas como consecuencia de estar afectadas por las últimas fases hercínicas. De todo ello, se deduce que estas segundas mineralizaciones de sulfuros, son una expresión tardía a causa de removilización sin o pos tectónica.

La Serie intermedia continua hacia el techo con un nivel de 2 a 5 metros de pizarras negras. Estas yacen adosándose a lo largo de todo el afloramiento estratiforme del tramo volcánico inferior brechificado. Al igual que este, contiene mineralizaciones de sulfuros diseminadas en la matriz silicio-arcillosa así como - en planos de kinkbands tarditectónicos.

Se superponen a este horizonte pelítico, piroclastos, autobrechas y tobas esquistosadas acidas con intercalaciones centimétricas a métricas de capas pizarrosas. Se trata de un tramo muy heterogéneo en cuanto a sus facies, irregular en potencias y carente de mineralizaciones, pudiendose corresponder con el volcanismo acido-1 (Routhier et al, 1977). Estos materiales corresponden a la zona esteril que se atravesaban en el pozo Gustavo (Mina de Higuereta) hasta unos 100-150 metros de profundidad, donde apa recian las pizarras negras siliceas con niveles cloríticos y capas de sulfuros intercaladas (Silillo).

La Serie intermedia culmina con un horizonte muy continuo de pizarras tufíticas violaceas, pizarras verdes sericitico-cloríticas con intercalaciones centimétricas y milimétricas de riolitas con textura afanítica, cuasivitrea y jaspes claros lenticulares. Los lechos riolíticos se asocian a tobas y lavas riolíticas porfiríticas hacia los niveles superiores de la secuencia, de ma-

nera que pasan gradualmente hacia el horizonte superior correspondiente al volcanismo acido-2. Esta asociación de pizarras y tufítas violaceas y verdes con jaspes claros, presentan en conjunto una facies diferente del primer nivel de pizarras moradas y verdes situadas en la base de la Serie intermedia, que junto con las pizarras negras siliceas yacen cerca del contacto del primer volcanismo acido. Por ello deducimos que este último horizonte pelítico pueda ser equiparable al de pizarras violetas que citan Routherier et al (1977) y que define de igual forma el techo de la Serie intermedia.

5°) Volcanismo acido-2.

En tránsito gradual o a través de tramos pelíticos - con espesores métricos, se superpone a la serie anterior una formación de volcanitas acidas. Del complejo-volcánico sedimentario, es el grupo litológico de mayor continuidad y extensión de afloramiento de la zona de Aznalcollar. Las rocas dominantes de esta - formación son tobas y lavas riolíticas (cuarzo queratofidos) en - capas estratiformes, a veces masivas, con bandeados fluidales y - texturas afanítica y porfirítica. Asociado a este volcanismo acido aparecen intercalaciones de jaspes rojos hematíticos, equiparables a los que contienen las pizarras sericiticas y tufitas sili- ceas que se sitúan al techo de las volcanitas acidas-2.

6°) Secuencia Dacita-Andesita (cuarzo queratofido-Espilita).

En el núcleo de la estructura sinclinal de la Unidad volcánico-sedimentaria, existe una sucesión de volcanitas de composición intermedia a básica, la cual constituye el techo del citado Complejo volcánico, (Coullaut, J. L. et al, 1975). Esta secuencia se inicia con una potente formación de autobrechas y porfidos dacíticos en afloramientos estratiformes y de aspecto masivo. Esta unidad ha sido considerada por Hofstetter (1980) como el substrato del volcanismo de Aznalcollar, cuya configuración pre-tectónica en domo-colada actuó como un paleorelief controlando - las facies y potencias de la secuencia volcánico-sedimentaria al norte y sur del mismo. Este es el caso de las cineritas siliceas

microcristalinas verdosas y violaceas con intercalaciones de tu fitas, jaspes claros y cherts que se superponen a las autobrechas dacíticas. El citado autor las equipara por cambio lateral de facies a las pizarras negras asociadas a las masas de sulfuros y que considera que están en posición de flanco inverso de una estructura mayor anticlinal, cuyo núcleo la ocupa el substrato dacítico.

La cartografía geológica (figura 1) que acompaña a este trabajo manifiesta, que el volcanismo acido superior que se superpone a las pizarras negras con sulfuros (Serie intermedia), permanece al norte y sur de las dacitas (supuesta barrera paleogeográfica, según Hofstetter, 1980). De igual forma el estudio de las muestras obtenidas de los sondeos realizados en la Mina Caridad y áreas circundantes a la misma, (ambito norte de la barrera paleogeográfica según Hofstetter) revelan que por debajo de los pórfidos existen facies semejantes a las volcanitas acidas y Serie intermedia con mineralización de sulfuros, por consiguiente no existen tales cambios de facies, ni los pórfidos - constituyen el substrato del complejo volcánico-sedimentario.

Por otra parte, la asociación de la formación dacítica con las cineritas verde-violáceas a techo, viene manifestada en la zona de contacto, al intercalarse esta de forma irregular y discontinua con la matriz pórfido dacítica de las autobrechas. Estas se caracterizan por las diferenciaciones a la manera de -clastos elongados y orientados según la estratificación de composición más acida y bordes poco netos en relación con la matriz dacítica que los engloba.

Por encima del tramo de cineritas yace una potente formación de rocas básicas de composición inicial andesítica con - intercalaciones de cherts y jaspes. Se superpone a las volcanitas básicas, pizarras, cineritas y tufitas de color predominantemente violaceo, con lo que culmina esta secuencia volcánica.

Dacitas y andesitas aparecen muy transformadas, a tra-

vés de un incremento de plagioclasa sódica, lo que implica que - pueda tratarse de una secuencia cuarzo-queratofido-espilitica.

#### TECTONICA

Como ya nos hemos venido refiriendo, el Complejo volcánico-sedimentario relacionado con las masas de sulfuros de Aznalcollar, se manifiesta en una estructura sinclinal asimétrica con dirección Este-Oeste y vergencia Sur (figuras 1 y 2). Dicha estructura acompañada de fallas inversas y cabalgamientos, es el resultado - de la tectónica polifásica hercínica, cuyas fases y estructuras de deformación fueron ya expuestas en nuestro informe (1972-1973).

La primera fase hercínica de plegamiento es responsable de - megaestructuras en las que los pliegues asociados, presentan variaciones de su geometría y dimensiones como consecuencia del contraste de viscosidad de los materiales y del espesor de las capas. En materiales pelíticos se desarrollan pliegues de deslizamiento debido a las infinitas superficies coincidentes con los planos de esquistosidad ( $S_1$ ) que con carácter penetrativo y a lo largo de los mismos, originan desplazamientos diferenciales de la estratificación ( $S_0$ ). La longitud de onda y amplitud de los pliegues en estos materiales, es sensiblemente menor de aquellos pliegues que aparecen en materiales de mayor competencia.

En secuencias donde los materiales de alta viscosidad se interestratifican con capas de materiales incompetentes, con el plegamiento estos últimos, emigran plásticamente engrosando las zonas de charnela al tiempo que se adelgazan los flancos. Las rocas competentes ya sean cuarcitas o riolitas presentan deformaciones plásticas semejantes, por lo que los pliegues no responden a un mecanismo puro de flexural-deslizamiento. Los cambios de espesor de las capas es atribuible a una contracción paralela a los esfuerzos principales compresivos, coetanea con una dilatación en el plano - normal a la compresión. Ello explica que predominen a escala centimétrica y métrica, los pliegues anisopacos isoclinales o subisociales, asimétricos y con vergencia sur.

La esquistosidad de plano axial que acompaña a este plegamiento tendría una dirección al igual que los ejes de los pliegues de N-120° - N-130° antes de ser afectada por las fases tectónicas posteriores. Por otra parte, la deformación a lo largo de los planos de flujo es tan intensa, que llega a enmascarar - la estratificación fundamentalmente en rocas pelítico-tufíticas.

Asociadas a estas deformaciones de la primera fase hercínica sinesquistosa, se originan fallas inversas y cabalgamientos subparalelos a la esquistosidad. Estas estructuras discontinuas se localizan preferentemente en los flancos inversos de los anticlinales deformándolos, y transponiendo sus charnelas hasta llegar a desaparecer. Es por ello frecuente observar estructuras menores de sinclinales adyacentes, sin que medie entre ambos estructura anticinal alguna, como consecuencia a la laminación que experimentan los flancos inversos y charnelas. - El conocimiento y análisis de estas estructuras menores han contribuido, no sólo como criterio para deducir la polaridad de la secuencia litoestratigráfica, sino también para llegar a la interpretación de las grandes estructuras que afectan a los materiales volcánico-sedimentarios.

Esta primera fase tectónica de edad Wesfaliense Medio - (Schermerhorn, L., 1971), está asociada a un metamorfismo regional de bajo grado sin que sobrepase las condiciones de la zona de la clorita.

La segunda fase de deformación es responsable también de estructuras de orden hectométrico, a las que se asocian pliegues menores con planos axiales subverticales y vergencia al - Sur. La dirección de plegamiento Este-Oeste responde a las estructuras cartografiadas, si bien puede variar por el efecto de etapas tectónicas posteriores.

Esta fase deforma los ejes de pliegues ( $B_1$ ) y la esquistosidad ( $S_1$ ) a partir de estructuras de plegamiento de amplitud y - longitudes de onda diversas. Las deformaciones de la esquistosidad

pueden ser desde ondulaciones decamétricas a estructuras centimétricas tipo "chevron" en los tramos pizarrosos. En las rocas competentes los pliegues de fase-2 son isopacos y con geometría monoclinica u ortorrómbica.

Una segunda esquistosidad coaxial con la de la primera fase, se desarrolla paralelamente a los planos axiales de los pliegues de fase-2. Se trata de una esquistosidad de fracturas, con planos subverticales y relativamente espaciados aún en materiales pizarrosos, donde se manifiesta por lo general como "Strain - Slip Cleavage".

Argumentando la orientación semejante de las componentes de esfuerzos, esta segunda fase tectónica ha sido considerada como una etapa distinta dentro de la primera fase de plegamiento - hercínica (Coullaut, J.L., 1975). Pensamos que esto no es correcto, por cuanto a que es bien conocido en todo el marco hercínico la existencia de dos fases hercínicas sinesquistosas y coaxiales de intensidad diferente, cuya separación temporal se ha puesto de manifiesto a través de las estructuras de deformación, metamorfismo regional, etc.. Comparando la paleogeografía y la tectónica de las zonas internas de la Cadena Hercínica con la Banda Piritosa Ibérica, se evidencia una clara emigración o polaridad - hacia el SW de dichas fases tectónicas. Es así, que este segundo periodo de plegamiento acompañado de Strain-Slip Cleavage, y que deforma las estructuras de la primera fase, ha sido considerado - para esta zona de edad Estefaniense (Schermehorn, L., 1971).

Un tercer episodio tectónico se pone de manifiesto a partir de cabalgamientos y fallas inversas de dirección general Este-Oeste y con desplazamiento hacia el Sur. Las superficies de cizallamiento son curvas, tendiendo a la horizontalidad en las zonas altas de las mismas, donde se puede observar franjas de tectonización centimétricas a métricas interceptando las estructuras de las fases tectónicas anteriores. Ello evidencia un desfase temporal con la segunda fase de plegamiento. Por lo que se refiere al origen y emplazamiento de estos cabalgamientos o fa-

llas inversas, diremos que viene determinado por un control estructural a partir de planos de cizallamiento preexistentes, y un control litológico por la diferencia de competencia de los materiales y a raíz de una tectónica tangencial, cuya componente de esfuerzos principales sería Norte - Sur. Esta tectónica de fracturación posterior a las principales fases de plegamiento, da lugar a una singular estructura imbricada o en escamas con vergencia hacia el Suroeste, la cual viene reconociéndose a lo largo de toda la Banda Piritosa.

Localmente y con distribución irregular, aparecen otros planos horizontales o subhorizontales de dimensiones métricas a decamétricas distorsionando las esquistosidades  $S_1$  y  $S_2$ . Se tratan de planos de cizallamiento que por su densidad en algunos tramos volcánico-sedimentarios, pueden equipararse a una esquistosidad ( $S_3$ ) de tipo Strain Slip Cleavage en disposición horizontal. En el horizonte brechificado contenido mineralizaciones de sulfuros de cobre, los planos de esquistosidad ( $S_1$ ) y estratificación ( $S_0$ ) forman pliegues tipo kink de dirección Este-Oeste a partir de los planos o superficies de cizallamiento ( $S_3$ ). Por ello consideramos que estas estructuras locales estén relacionadas con la tectónica de cabalgamientos y fallas inversas posteriores a la primera y segunda fase de plegamiento.

Se ha podido determinar una cuarta fase de deformación a partir de pliegues con ejes verticales y subverticales acompañados de una esquistosidad de fractura ( $S_4$ ), y dirección N-10° E, N-30° E. Estas deformaciones se manifiestan en áreas restringidas y debido a la relación que tienen con fracturas y diaclasas de dirección semejante a las de la fracturación tardihercínica, es probable que estén relacionadas con los movimientos sinestrales de dichas zonas de cizalla. Así pues estas deformaciones junto con estructuras de tipo kinkband, se pueden considerar como manifestaciones tardías de ciclo orogénico hercínico.

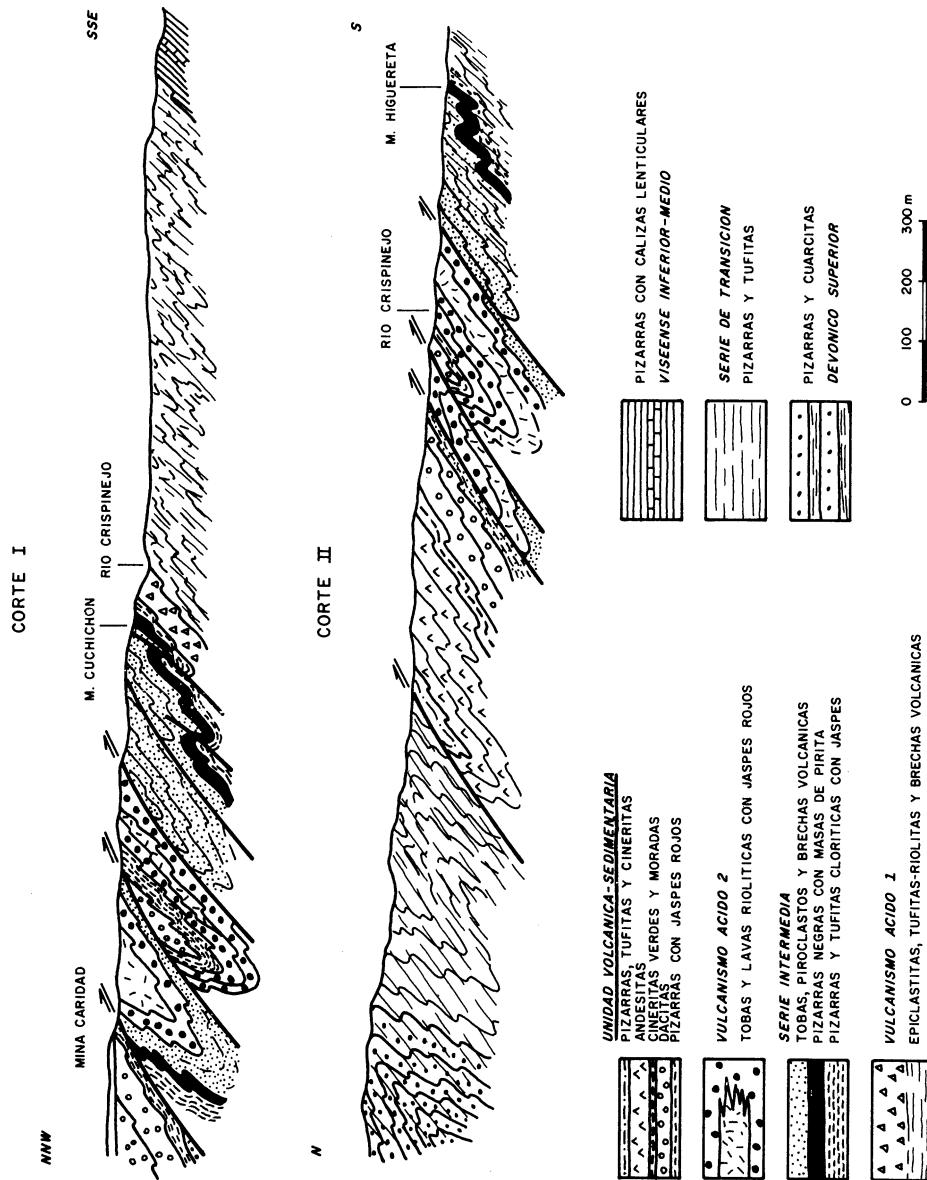


Figura 2.- Cortes geológicos de la estructura sinclinal de Aznalcollar.

## LOS YACIMIENTOS DE AZNALCOLLAR.

En este apartado expondremos brevemente nuestro criterio referente a la posición de los yacimientos de sulfuros de Aznalcollar, en base a la secuencia litoestratigráfica y estructura geológica establecidas.

Los yacimientos de sulfuros de Aznalcollar se reducen fundamentalmente a dos masas estratiformes; una al Norte correspondiente a las antiguas explotaciones de la Mina Caridad y otra al Sur a la que pertenecen las también antiguas explotaciones de Minas Higuera-Cuchichón, hoy día desaparecidas por las obras de la corta. La masa de sulfuros de la Mina Caridad, se encuentra asociada a facies de pizarras negras, cineritas cloríticas y silíceas de colores verdes y violáceos con jaspes, equivalentes a las de la Serie Intermedia que yacen hacia la base interestratificándose con los horizontes de pirita de Mina Higuera-Cuchichón. El estudio de las muestras obtenidas del pozo de San José (Mina Caridad) y de los pozos Gustavo y Roberto de las Minas Higuera y Cuchichón respectivamente, evidencian la similitud de las facies correspondientes a las rocas encajantes de una y otra mineralización.

Por otra parte, se reconoce que en el horizonte mineralizado de Mina Caridad, yace en contacto por falla inversa a muro de la formación de rocas dacíticas (figura 2), las cuales junto con las cineritas verdes y violáceas de transición a rocas básicas andesíticas, definen el techo de la unidad volcánico-sedimentaria. Cuando este horizonte mineralizado queda fuera del efecto del cabalgamiento, como se viene observando en la nueva masa de sulfuros localizada al Este de dicho yacimiento, se pone de manifiesto la clara relación de estas mineralizaciones con las facies de la serie intermedia. Por todo ello deducimos que los yacimientos de Caridad e Higuera-Cuchichón, corresponden a un mismo horizonte del complejo volcánico-sedimentario.

Por lo que se refiere a las mineralizaciones de calcopi-

rita vinculadas a un tramo brechificado volcánico-sedimentario, Hofstetter, J. P. 1980 lo interpreta como un stockwork del tipo alimentador de masas de sulfuros.

La inexistencia de raíces o estructuras zonadas verticales que se asemejen a chimeneas o canales de alimentación, así como la carencia de bloques subyacentes y aureolas, nos induce a interpretar estas mineralizaciones asociadas a un área de brechificación estratiforme, como un stockwork de origen tectónico. Independientemente de que dicho tramo yace a techo de las masas de pirita de Higuereta-Cuchichón, es evidente que las estructuras que acompañan a las mineralizaciones son el resultado de una tectonización asociada al metamorfismo sincinematíco seguido de ulteriores fases tectónicas, por lo que obedecen a removilizaciones sucesivas que están relacionadas con estructuras de deformación no contemporáneas entre sí.

#### CONCLUSIONES

Se establece una secuencia litoestratigráfica de la Unidad volcánica-sedimentaria relacionada con los yacimientos de sulfuros de Aznalcollar. En ella, y de muro a techo se han diferenciado las siguientes formaciones :

1°/ Serie de transición de pizarras y tufitas, la cual se superpone directamente a las pizarras y cuarcitas del Devónico superior. Dicha serie contiene sills de rocas básicas y horizontes lenticulares de tobas riolíticas.

2°/ Formación pizarrosa-tufítica y epiclástica. Presenta también intercalaciones de rocas básicas en forma de sills y calizas lenticulares. Estas últimas con fauna de edad Viseense inferior-medio (Hofstetter, 1980).

3°/ Volcanismo acido-1. Definido fundamentalmente por -riolitas afaníticas y brechas volcánicas.

4°/ Serie intermedia. Se inicia con una sucesión de pizarras negras con gran contenido de carbonatos, pizarras silíceas y cineritas negras interestratificándose con tufitas cloríticas verdes y violáceas con jaspes. Se superponen pizarras silíceas con lechos riolíticos, constituyendo las rocas encajantes de las mineralizaciones de sulfuros. Al techo de las mismas yacen, cineritas, piroclastos y riolitas con sulfuros de cobre asociados a diferentes tipos de estructuras desfasadas temporalmente como consecuencia de removilizaciones sin y postectónicas. Esta serie culmina con pizarras y tufitas cloríticas con cherts y jaspes lenticulares, de colores violáceos y verdes. Se equiparan a las pizarras violáceas del techo de la Serie Intermedia - (Routhier, P. et al, 1977).

5°/ Volcanismo acido-2. Está representado por tobas y lavas riolíticas estratiformes con bandeados fluidales y texturas afanítica y porfirítica.

6°/ Secuencia-Dacita-Andesita (cuarzo queratófido-espilitica). Corresponde al techo del Complejo volcánico-sedimentario de Aznalcollar, con un tramo singular intermedio de cineritas violáceas y verdes.

Esta unidad volcánico-sedimentaria se manifiesta en una estructura sinclinal acompañada de fallas inversas y cabalgamientos como resultado de la tectónica polifásica hercínica.

De la secuencia litoestratigráfica y estructura establecida, se deduce que los yacimientos de sulfuros de Caridad al norte e Higuereta-Cuchichón al sur, corresponden a un mismo horizonte volcánico-sedimentario.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Compañía General de Sondeos, S. A., así como a L. LOPEZ VILCHEZ y M. AGUILAR, por - la ayuda que me prestaron en el transcurso de las investigaciones que durante los años 1.972 y 1.973 realizamos bajo la dirección de D. Carlos FELGUEROZO COPPEL.

Este trabajo quiere ser testimonio de mi recuerdo y profundo re conocimiento a D. Carlos FELGUEROZO COPPEL , cuya labor profesional e investigadora fué ejemplo a imitar en pro de las Ciencias Geológicas.

BIBLIOGRAFIA.-

BOOGAARD, M. VAN DEN. (1963). Conodonts of Upper Devonian and Lower Carboniferous age from Southern Portugal. "Geol. Mijnb". v. 42, p. 248-259.

BOOGAARD, M. VAN DEN (1967). Geology of the Pomarao region - (Southern Portugal). Tesis Universidad de Amsterdam, Rotterdam pp. 1-113.

COULLAUT, J.L.; SOLER, M. y ANTON, J.A. (1975). Investigación de piritas y sulfuros complejos en la zona de Aznalcóllar. Jornadas Minero-Metalúrgicas. Bilbao, tomo 2, pp. 155-178.

DOETSCH, J. (1953). Introducción a un estudio del término municipal de Puebla de Guzmán, en la provincia de Huelva. "Boletín Inst. Geol. Minero España". v. 65, pp. 35-218.

FEBREL MOLINERO, T. (1967). Estratigrafía Tectónica y Petrografía en la zona de Calañas (Huelva). Enadimsa, pp. 1-57.

FEBREL MOLINERO, T. (1972). Estructura de la masa de pirita - de la Mina de Herrerías, Puebla de Guzman (Huelva). Bol. Geol. y Minero. T. LXXXIII, pp. 81-87.

GARCIA PALOMERO, F. (1974). Caracteres estratigráficos del anticlinal de Rio Tinto. Studia Geológica, vol. 8, pp. 93-124.

GARCIA PALOMERO, F. (1975). Estudio Geológico de la masa pirítica de San Antonio (Rio Tinto). Jornadas Minero-Metalúrgicas. Bilbao. pp. 175-191.

GARCIA PALOMERO, F. (1975). Geología de la zona minera de Rio Tinto. Tercera Reunión sobre Geología del Suroeste. Libro Guía pp. 16-17.

HERNANDEZ ENRILE, J.L., (1973). Estudio geológico de Aznalco-  
llar. C.G.S. Informe inédito.

HOLLINGER, R. (1959). Beitrag zur Kenntnis der Geologie im -  
Sudwesten der Provinz Huelva. Unpublished doctoral thesis, Uni-  
vers. of Munster, 168 p.

HOFSTETTER, J.P. (1980). L'Amas Sulfure A Cu - Pb - Zn D'Aznal-  
collar (Seville), Espagne. Tesis Univ. Pierre & Marie Curie.  
París.

IGME (1978). Mapa Geológico de España E. 1:50.000. Aznalcollar  
(961).

MADEL, J. y LOPERA, E. (1975). Geología de la zona Minera de -  
Tharsis. Tercera Reunión sobre Geología del Suroeste. Libro -  
Guia, pp. 18-22.

PRUVOST, P. (1912). Sur la présence de fossiles d'age devonien  
supérieur dans les schistes a néréites de Sam-Domingos. Com. -  
Serv. Geol. Portugal. v. 9, pp. 58-68.

ROUTHIER, P. et al. (1977). La ceinture sud-ibérique a amas -  
sulfures. Memoire du BRGM n° 94. París.

SCHERMERHORN, L.J.G. y STANTON, W.I. (1969). Folded overthrust  
at Alvastrel (South Portugal). Geol. Mag. Cambrigde, tomo 106,  
pp. 130-141.

SCHERMERHORN, L.J.G. (1970). Mafic Geosynclinal Volcanism in -  
the lower Carboniferous of South Portugal. Geol. en Mijnbouw. -  
vol. 49, tomo 6, pp. 439-450.

SCHERMERHORN, L.J.G. (1971). An outline stratigraphy of the -  
Iberian pyrite belt. Boletín Geológico y Minero, Madrid. tomo  
82, vol. 3, pp. 23-52.