

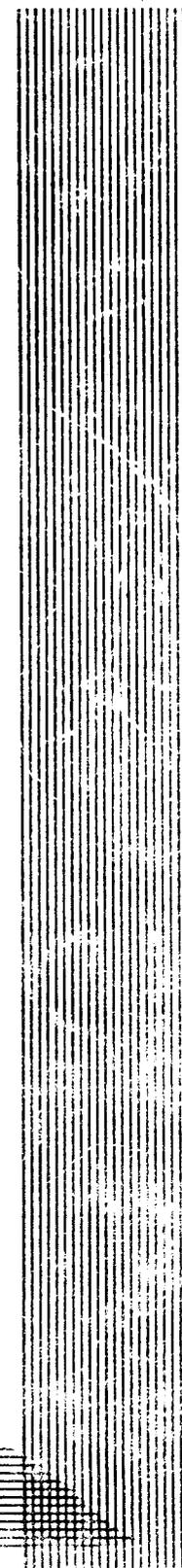
AMARILLO - 1 -
ORDEN - 91 -

MINISTERIO DE INDUSTRIA
DIRECCION GENERAL DE MINAS
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

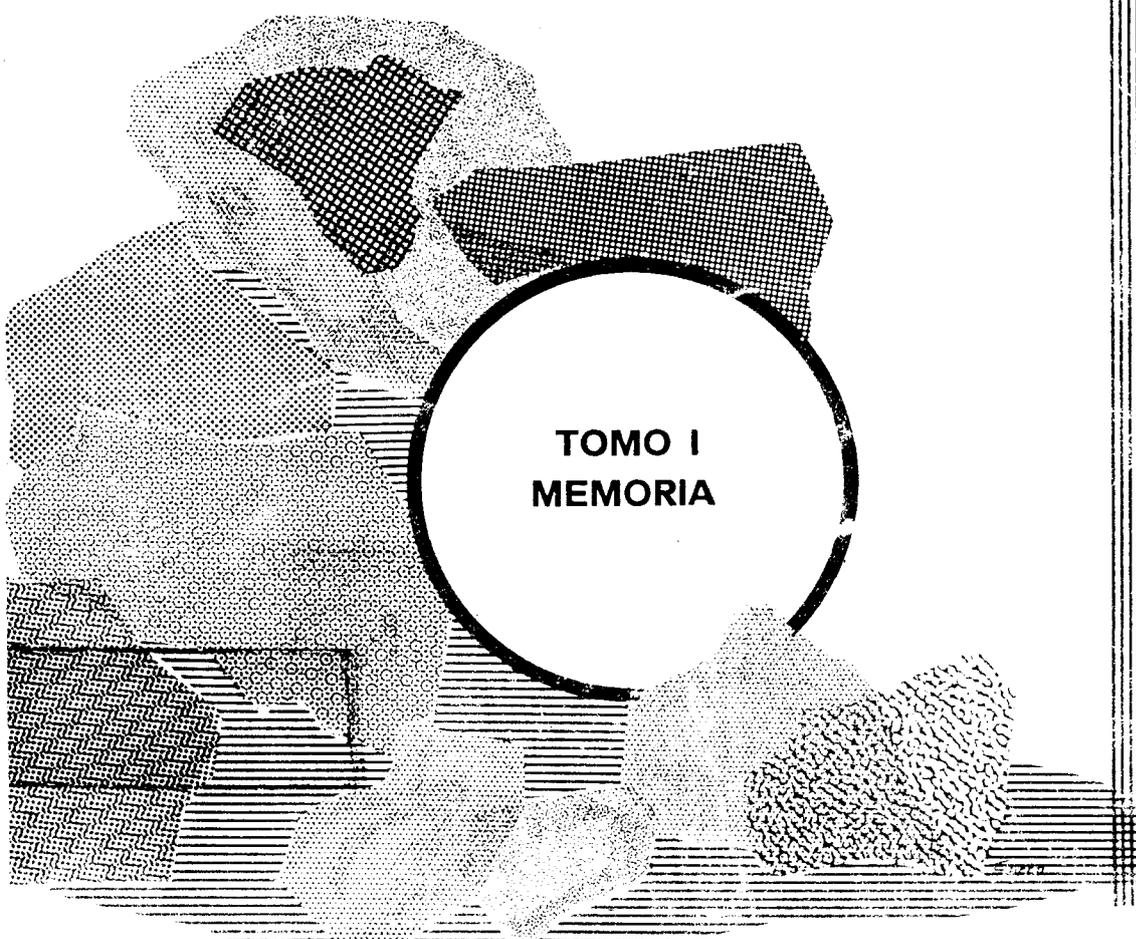
10013

PLAN NACIONAL DE LA MINERIA
PLAN NACIONAL DE ABASTECIMIENTO
DE MATERIAS PRIMAS NO ENERGETICAS

**ESTUDIO BASICO DE LOS
YACIMIENTOS DE Cu - Ni
TIPO - ARINTEIRO**



**TOMO I
MEMORIA**



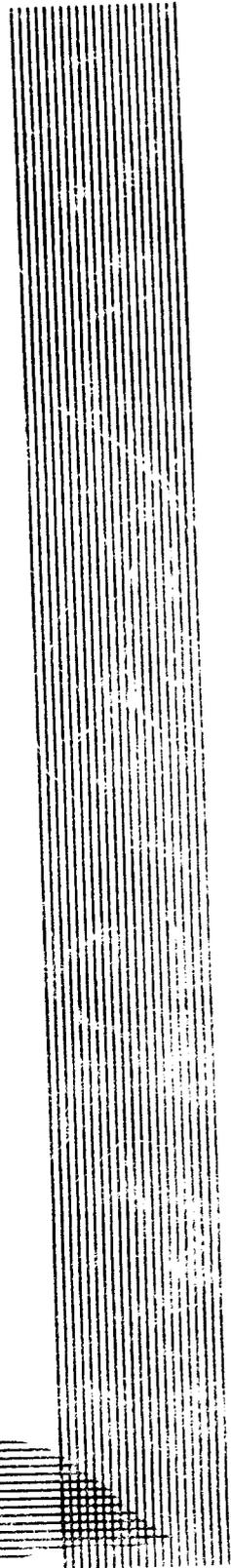
AMARILLO - 1 -
ORDEN - 91 -

MINISTERIO DE INDUSTRIA
DIRECCION GENERAL DE MINAS
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPANA

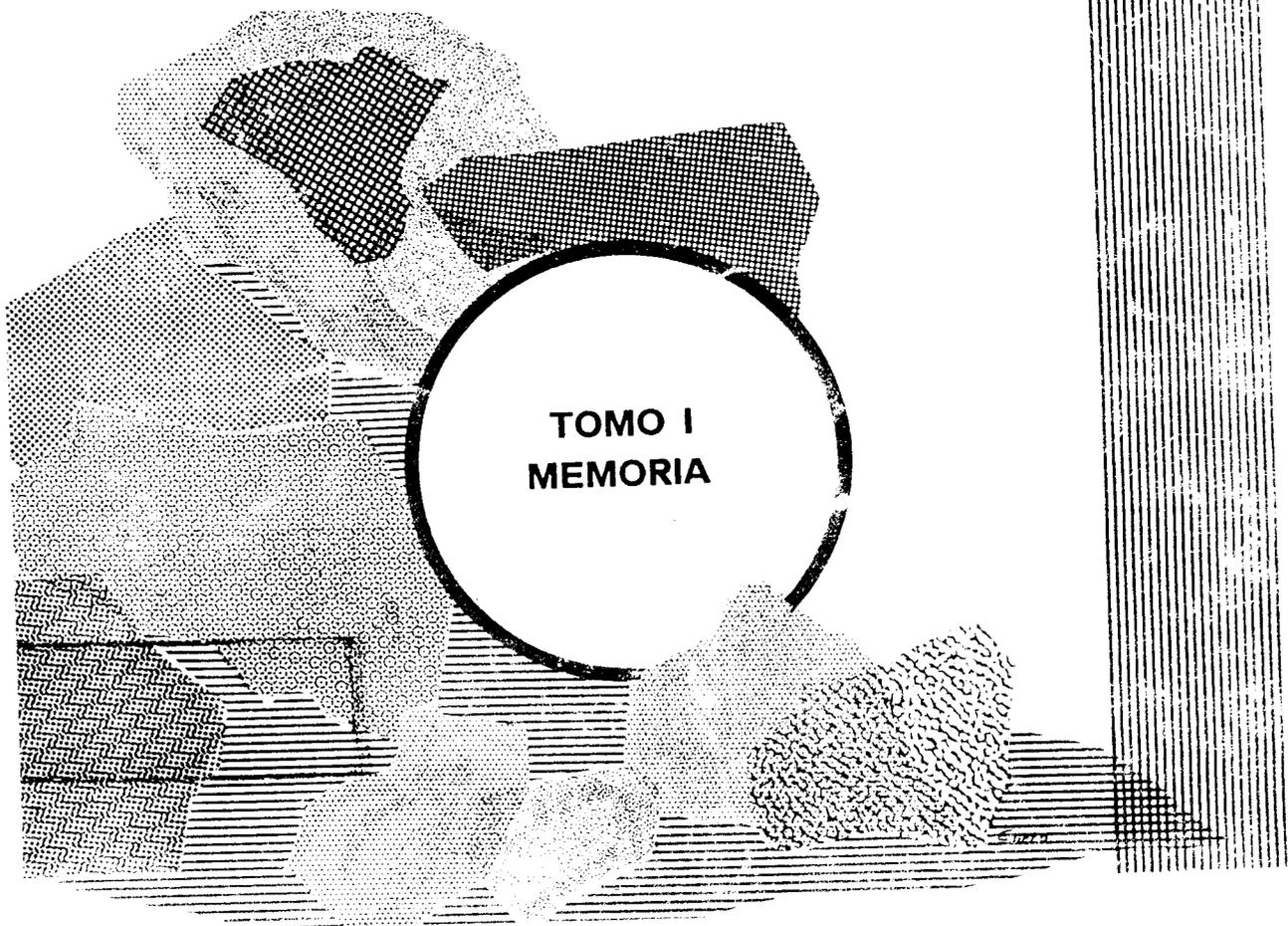
10013

PLAN NACIONAL DE LA MINERIA
PLAN NACIONAL DE ABASTECIMIENTO
DE MATERIAS PRIMAS NO ENERGETICAS

ESTUDIO BASICO DE LOS YACIMIENTOS DE Cu - Ni TIPO - ARINTEIRO



TOMO I
MEMORIA



10018

**ESTUDIO BASICO DE LOS YACIMIENTOS DE Cu - Ni
TIPO-ARINTEIRO**

**MEMORIA
TOMO I**

Mayo 1977

10018

TOMOS QUE COMPRENDE ESTE INFORME

TOMO I MEMORIA

TOMO II ANEXOS

TOMO III PLANOS

Mayo 1977

13018

INDICE

| | Paginas,- |
|--|-----------|
| 6.2.1.3.- <u>Mapa estructural</u> (mapa nº 4 del - anexo de planos)..... | 24 |
| 6.2.1.3.1.- <u>Diagramas y su interpretación...</u> | 25 |
| 6.2.2.- <u>Interpretación del mapa estructural</u> | 40 |
| 6.2.3.- <u>Relación entre la mineralización y la estructura de las rocas encajan- tes.....</u> | 43 |
| 6.2.4.- <u>Estudio petrológico.....</u> | 45 |
| 6.2.4.1.- <u>Resultados a partir de las lámii- nas de metabasitas.....</u> | 45 |
| 6.2.4.2.- <u>Resultados a partir de las láminas de la mineralización de Fornás ...</u> | 47 |
| 6.3.- <u>RECAPITULACION Y CONCLUSIONES.....</u> | 54 |
| 6.3.1.- <u>Conclusiones estructurales y petroloó- gicas.....</u> | 54 |
| 6.3.2.- <u>Conclusiones relativas a la minerali- zación de sulfuros.....</u> | 56 |
| 6.3.3.- <u>Controles petrológicos y estructura- les de la mineralización de sulfuros</u> | 60 |
| 6.4.- <u>ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECTOGRAFI- COS DIFRACTOMETRICOS METALOGENICOS.....</u> | 62 |
| 6.4.1.- <u>Estudio por Fluorescencia de Rayos X</u> | 62 |
| 6.4.2.- <u>Estudio por difracción de Rayos X</u> | 64 |
| 6.4.3.- <u>Estudio metalogénico.....</u> | 65 |
| 6.4.4.- <u>Análisis Químicos.....</u> | 66 |
| 7.- <u>ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENICO DEL CRIADERO DE ARINIENIRO.....</u> | 69 |

| | |
|---|----|
| 7.1.- LOCALIZACION GEOLOGICA DEL AREA DE - ARINTEIRO..... | 69 |
| 7.2.- CARTOGRAFIA GEOLOGICA (Vease el mapa nº 6)..... | 69 |
| 7.2.1.- <u>Litología Macroscópica</u> | 70 |
| 7.2.2.- <u>Carácteres estructurales</u> | 74 |
| 7.3.- ESTUDIO DE LOS PERFILES DE ESPECTRO- GRAFIA, DIFRACTOMETRIA, PETROGRAFIA, METALOGENIA, y ANALISIS QUIMICOS... .. | 76 |
| 7.3.1.- <u>Estudio por fluorescencia de rayos X</u> | 76 |
| 7.3.2.- <u>Estudio por difracción de ra- vos X</u> | 78 |
| 7.3.3.- <u>Estudio Petrográfico</u> | 79 |
| 7.3.4.- <u>Estudio Metalogénico</u> | 84 |
| 7.3.5.- <u>Análisis químicos</u> | 86 |
| 7.3.6.- <u>Consideraciones genéticas del vaci- miento</u> | 88 |
| | |
| 8.- <u>RESUMEN COMPARATIVO DE LAS PRINCIPALES CON- CLUSIONES DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICO-METALO- GENICOS DE FORNAS Y ARINTEIRO</u> | 93 |
| | |
| 9.- <u>ESTUDIO DOCUMENTAL COMPARATIVO DE LOS CRIA- DEROS DE COBRE DEL AREA DE SANTIAGO DE COM- POSTELA CON LA TIPOLOGIA MUNDIAL DE CRIADE- ROS DE Cu - (Ni)</u> | 98 |
| 9.1.- TIPOS MUNDIALES TOTALMENTE DISPARES A LOS YACIMIENTOS DEL AREA DE SANTIAGO | 98 |

| | |
|--|-----|
| 9.2.- TIPOS MUNDIALES DE YACIMIENTOS CUPRIFEROS CON CIERTAS SIMILITUDES A LOS YACIMIENTOS DEL AREA DE SANTIAGO..... | 99 |
| 9.2.1.- <u>Yacimientos de cobre asociados a rocas metamórficas diversas sin relación visible con plutones.....</u> | 100 |
| 9.2.2.- <u>Yacimientos de Cu-Ni Asociados a Rocas Básicas (ó Ultrabásicas) Frecuentemente metamorfizadas.....</u> | 100 |
| 9.2.3.- <u>Yacimientos de calcopirita-cuarzo hidrotermales y neumatolíticos (generalmente relacionados con plutonismo)....</u> | 113 |
| 9.2.4.- <u>Yacimientos piritosos asociados a complejos volcánicos o vulcano - sedimentarios.....</u> | 116 |
| 10.- <u>RESERVAS CONOCIDAS Y POTENCIALIDAD DE ESTE - SECTOR METALOGENICO.....</u> | 118 |
| 10.1.- POTENCIALIDAD DE ESTE SECTOR METALOGENETICO..... | 118 |
| 10.2.- RESERVAS CONOCIDAS..... | 118 |
| 11.- <u>METODOLOGIA DE PROSPECCION.....</u> | 120 |
| 11.1.- FASE POSPECTIVA DE SELECCION DE ZONAS | 120 |
| 11.1.1.- <u>Análisis documental.....</u> | 120 |
| 11.1.2.- <u>Vuelos electromagnéticos y magnéticos.....</u> | 120 |
| 11.1.3.- <u>Geoquímica de arrastres fluviales..</u> | 121 |
| 11.1.4.- <u>Geoquímica de sedimentos fluviales con Batea. Mineralometría.....</u> | 127 |

| | Paginas,-- |
|---|------------|
| 11.2.- FASE PROSPECTIVA SOBRE ZONAS PRE-- | |
| SELECCIONADAS..... | 133 |
| 11.2.1.- <u>Geología detallada</u> | 133 |
| 11.2.2.- <u>Geoquímica de suelos y mediciones</u> | |
| <u>de pH</u> | 134 |
| 11.2.3.- <u>Estudios metalogénicos</u> | 137 |
| 11.2.4.- <u>Técnicas geofísicas magnetométricas</u> | |
| <u>cas</u> | 137 |
| 11.2.5.- <u>Técnicas geofísicas electromagnéticas</u> | |
| <u>cas</u> | 138 |
| 11.2.6.- <u>Técnicas geofísicas eléctricas y</u> | |
| <u>polarización inducida</u> | 139 |
| 11.2.7.- <u>Técnicas geofísicas gravimétricas</u> | |
| <u>y sísmicas</u> | 141 |
| | |
| 12.- <u>ESTUDIO ECONOMICO-MINERO DE LOS YACIMIENTOS</u> | |
| <u>DE Cu DEL AREA DE SANTIAGO</u> | 143 |
| 12.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS..... | 143 |
| 12.2.- RESULTADOS ECONOMICOS DE UNA EXPLOTA- | |
| <u>CIÓN MINERA</u> | 148 |
| 12.2.1.- <u>Cálculo de los ingresos anuales</u> ... | 149 |
| 12.2.2.- <u>Costos de explotación</u> | 153 |
| 12.2.3.- <u>Inversión, Gastos financieros</u> | 165 |
| 12.3.- ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONOMICA | |
| <u>DE DIFERENTES PROYECTOS MINEROS</u> | 172 |
| 12.3.1.- <u>Metodología</u> | 172 |
| 12.3.2.- <u>Resumen de hipótesis realizadas</u> .. | 174 |
| 12.3.3.- <u>Calculos de los proyectos 1, 2 y 3</u> | 176 |
| 12.3.4.- <u>Resumen de resultados de los proyectos</u> | |
| <u>1, 2 y 3</u> | 179 |

| | Paginas,- |
|---|-----------|
| 12.4.- CONCLUSIONES..... | 181 |
| 13.- <u>RESUMEN Y CONCLUSIONES</u> | 186 |
| 14.- <u>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</u> | 192 |
| ANEXOS..... | 199 |
| ANEXO Nº 1: ESPECTROGRAFIA..... | 200 |
| ANEXO Nº 2: DIFRACTOMETRIA..... | 204 |
| ANEXO Nº 3: PETROGRAFIA..... | 208 |
| ANEXO Nº 4: METALOGENIA..... | 320 |
| ANEXO Nº 5: ANALISIS QUIMICOS..... | 340 |
| ANEXO Nº 6: MINERALOMETRIA..... | 353 |
| ANEXO Nº 7: CATASTRO MINERO..... | 354 |
| INDICE DE PLANOS | |
| PLANO Nº 1.- Mapa de situación de afloramientos y numeración de las estaciones de observación - entorno de Fornás. Escala 1:11.500 aprox. | |
| PLANO Nº 2.- Mapa de anotaciones puntuales de los caracteres texturales, mineralogicos y de indicios, del entorno de Fornás. Escala 1:11.500 aprox. | |
| PLANO Nº 3.- Mapa litológico y de indicios del entorno de - Fornás. Escala 1:11.500 aprox. | |
| PLANO Nº 4.- Mapa estructural del entorno de Fornás. Escala 1:11.500 aprox. | |
| PLANO Nº 5.- Esquema geológico y situación de muestras tomadas en la Corta de Fornás. Escala 1:500 | |
| PLANO Nº 6.- Plano geológico, Arinteiro. Escala 1:2.000 | |
| PLANO Nº 7.- Esquema geológico y situación de muestras tomadas en la corta de Arinteiro. Escala 1:500 | |

- PLANO Nº 8.- Santiago de Compostela area, Spain, Helicopter
Electromagnetic & magnetometer survey, H.E.M.
701 & NPM 1. Escala 1:30.000 aprox.
- PLANO Nº 9.- Plano geoquímico parcial de la zona de Six.
Escala 1:10.000
- PLANO Nº 10.- Plano geoquímico de Arinteiro. Escala 1:5.000
- PLANO Nº 11.- Magnetometría de Fornás. Escala 1:5.000
- PLANO Nº 12.- Map of the vertical component of the magnetic
field in "Arinteiro" Zone (Galicia, Spain).
Escala 1:2.000
- PLANO Nº 13.- Map of the vertical component of the residual
magnetic field in "Arinteiro" Zone (Galicia,
Spain). Escala 1:2.000
- PLANO Nº 14.- Area de Fornás, Plano de situación de los bu-
cles de Turam, Sondeos, calicatas y labores de
la mina. Escala 1:2.250
- PLANO Nº 15.- Turam results showing, reduced ratios and phase
differences, vertical field component 400 c.p.s.
and 800 c.p.s. primary field and surface pro-
jections of conductors indicated by this sur-
vey. Escala 1:2.000.
- PLANO Nº 16.- Electromagnético GUN, Real Alta, FORMAS. Esca-
la 1:10.000.
- PLANO Nº 17.- Plano electromag. GUN, Real Alta, Arinteiro. Es-
cala 1:5.000
- PLANO Nº 18.- Geophysical survey sharpe SE-200 survey, bread-
side method configuration "A", area Arinteiro.
Escala 1:2.000
- PLANO Nº 19.- Sondeo Fornás nº 14. Escala 1:250
- PLANO Nº 20.- Sondeo Fornás nº 1. Escala 1:250
- PLANO Nº 21.- Plano Geológico, alrededores de Santiago. Esca-
la 1:10.000

PLANO Nº 22.- Plano geoquímico-geofísico, Zona de Fornás. Es
cala 1:5.000

PLANO Nº 23.- Geología, Interior de la Mina, Fornás. Escala
1:250

PLANO Nº 24.- Plano de concesiones y permisos de investiga-
ción. Escala 1:50.000

1. INTRODUCCION

1.- INTRODUCCION

El INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA ha encargado a la COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS, S.A. la realización del Estudio Básico de los Yacimientos de Cu - Ni Tipo Arinteiro, dentro del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas no Energeticas.

Los yacimientos del área de Arinteiro se localizan en la zona comprendida entre el casco urbano de Santiago de Compostela y la aldea de Touro, situada 20 Km, al Este de Santiago. Por otra parte estos yacimientos se hallan en grandes concesiones y permisos de investigación minera que pertenecen a RIO TINTO PATIÑO, S.A.; no obstante otras concesiones más pequeñas de la misma zona han sido investigadas por la SOCIEDAD MINERO METALURGICA DE PEÑARROYA-ESPAÑA, S.A. Todo ello dentro de la Reserva a favor del Estado para Pb, Fe, Zn, Cu, Au, Ni, Cr, Ti, Sn, W, asbestos, Al, Mn, carbonos, y tierras raras, con la denominación "Noroeste".

El presente proyecto forma parte del conjunto de estudios que la Administración ha de desarrollar para plantear las acciones futuras en tal Zona Reservada, cumplimentado lo establecido en el PNA aprobado por el Consejo de Ministros en febrero de 1975, y lo que señala la Ley de Minas.

Los objetivos de esta investigación, que aparecen expuestos en la redacción del Proyecto, son (aparte de conocer con la mayor corrección posible el potencial minero de la Reserva):

- a) Establecer las características geológico-metalogenéticas que distinguen el tipo de yacimiento estudiado y los ámbitos geológicos donde se manifiestan.
- b) Determinar los valores mínimos de riqueza y envergadura que deben reunir este tipo de mineralizaciones para que resulten económicamente productivas, en la actualidad y en un futuro previsible.
- c) Seleccionar la metodología de investigación más apropiada para la búsqueda de tales criaderos y puesta a punto de las técnicas para su aplicación.

Todo ello con la finalidad última de aplicar la información obtenida a la búsqueda y hallazgo de nuevas reservas minerales en el perímetro del NO que permitan la explotación anual de los tonelajes señalados en P.N.A.

Atendiendo a los citados objetivos se han realizado los siguientes trabajos fundamentales:

- A) Estudios metalogenéticos y petrológicos de las rocas mineralizadas y del medio encajante, mediante el muestreo a lo largo de cuatro perfiles (2 en la mina de Fornás y 2 en la mina de Arinteiro).
- B) Estudios Bibliográficos:

- a) Estudio bibliográfico referente a los criaderos de cobre, y los complejos de rocas básicas del área de Santiago de Compostela.
- b) Estudio bibliográfico de la tipología mundial a la que pertenece el área de Arinteiro.
- ✓ C) Reconocimiento detallado de los informes internos suministrados por la SOCIEDAD MINERO METALURGICA DE PEÑARROYA-ESPAÑA, S.A., y estudio minucioso de todos los trabajos de investigación realizados hasta la fecha por RIO TINTO PATIÑO, S.A. enriquecidos con el continuo asesoramiento personal de sus autores y supervisores.
- D) Prospección geoquímica de sedimentos de arroyos, con o sin batea, y estudio mineralométrico complementario, de un área de aproximadamente 35 - Km², centrada en la zona de las actuales explotaciones de Fornás y de los criaderos de Gemma y Gamás.
- Comprobación de uno de los perfiles de geoquímica de suelos (por medio de un sistema de recolección de muestras distinto) con los cuales RTP cubrió inicialmente todas las áreas que juzgo de interés potencial
- E) Cartografía geológico-minera a escala 1:10.000 de 11,8 Km² centrados en el área de los criaderos de Fornás-Gemma-Gamás, con especial atención a los caracteres estructurales y metamórficos de

la zona. Todo ello apoyado con el estudio petrográfico de láminas delgadas.

F) Discusión de los resultados prácticos de las muy diversas técnicas de prospección geofísica empleadas por RTP; así como valoración teórica de la eventual utilidad de las no empleadas.

G) Determinación actualizada de los mínimos parámetros locales de explotabilidad económica para este tipo de criaderos, apoyados en los estudios realizados al respecto por R.T.P.

La realización del trabajo se desglosa como sigue:

a) El estudio cartográfico y petrográfico del metalotecto de Fornás fue realizado por el Dr. A. Estevez y D. Emilio Pascual (de la Universidad de Granada) asistidos por D. Jesus Fernández y D. Antonio Canicio por parte de C.G.S.

b) El Estudio Económico Minero ha sido elaborado por el Ingeniero de Minas D. José Barat Cascante a partir de los datos suministrados por D. Jose Luis Saura director de la Mina de Arinteiro.

c) Los trabajos de campo y de síntesis efectuados sobre el yacimiento de Arinteiro; el estudio documental comparativo; la geoquímica de arroyos y de suelos; el estudio general de la metodología de prospección; así como el ensamblaje del conjunto y la confección de los capítulos introductorios, de recopilación y de resumen, han corrido a cargo de D.

Antonio Canicio

El trabajo de laboratorio se ha distribuido del siguiente modo:

Petrografia: Dr. A. Estevez y D. Emilio Pascual, geólogos de la Universidad de Granada.

Metalogenia: Laboratorios del IGME

Análisis Geoquímico: D. Julio Saavedra, geólogo de la Universidad de Salamanca.

Difractom. Espectrogr. y Análisis Químicos: Laboratorios del IGME.

Mención especial merece la gentileza de RIO TINTO - PATIÑO, S.A. que nos ha facilitado, de acuerdo con su abierto espíritu de colaboración y la autorización de D. Teodoro Barabás, todo tipo de información oral y gráfica, tanto por parte de su jefe de Exploraciones Dr. Ing. Mr. Neville Roden, como por el continuo asesoramiento de los geólogos D. Jesús Ayala y D. Jorge Reyes, que han llevado hasta hoy la prospección minera de R.T.P. en este área.

Igualmente agradecemos a D. Jose Luis Saura no sólo el cúmulo de datos aportados, sino también el tiempo que nos ha dedicado para discutir los aspectos económicos.

Como supervisores del proyecto han actuado D. Angel Rodriguez Paradinas, Dr. Ingeniero de Minas (por parte de C.G.S.) y D. Jose Francisco Gonzalez Fernández. Ingeniero de Minas, por parte del IGME.

**2 · CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS
YACIMIENTOS DE Cu DEL AREA DE
ARINTEIRO**

2.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS YACIMIENTOS DE Cu DEL - AREA DE ARINTEIRO

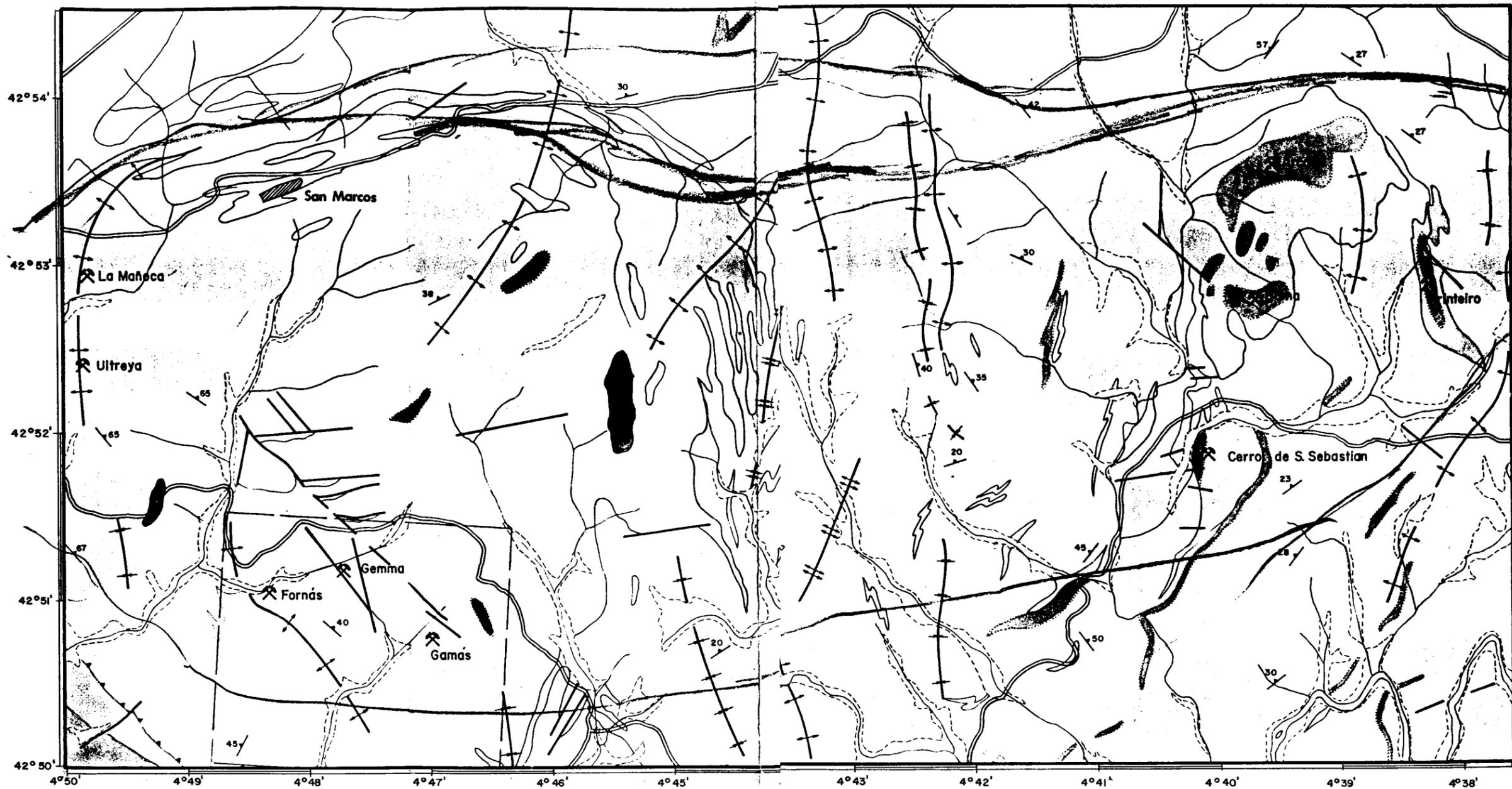
Es necesario comenzar dejando bien claro que en el área metalogénica de Cu situada al E. de Santiago de Compostela existen dos modelos claros y bien diferenciados de yacimientos de cobre que si bien pertenecen a una misma tipología por lo que se refiere a sus caracteres generales, constituyen en cambio dos subtipos bien definidos. Los ejemplos mejor conocidos y estudiados que representan estos dos subtipos son - los yacimientos de FORNAS, y el de ARINTEIRO.

En el cuadro de la página siguiente se describe cada uno de los dos subtipos de manera esquemática. (Fig. 1)

Ambos subtipos de yacimientos se hallan además en sendos asomos de rocas básicas separadas entre sí del orden de 5 a 6 Km. (Vease Fig. 2)

| | UNIDAD LITOLÓGICA QUE LO ENMARCA. | LITOLOGIA ASOCIADA (caso de diseminación) ROCA DE CAJA (caso filoniano). | ASOCIACION FUNDAMENTAL DE SULFUROS. | CARACTER DE LA MINERALIZACION. | DIMENSIONAMIENTO USUAL MAXIMO CONOCIDO. | ORDEN DE MAGNITUD DE SU LEY EN Cu. |
|---|--|--|--|---|---|------------------------------------|
| SUBTIPO ARINTEIRO (Bama, Cerro S. Sebastian, Arca). | Anfibolitas - de grano muy fino con bandeo difícilmente perceptible a ojo desnudo. | Anfibolita - granatífera megacristalina con Escordierita, gedrita etc. | Pirrotina-calcopirita» piritita. | Diseminación fisural, intergranular, etc. que llega con frecuencia a ser de tipo net-work | Decenas de millones de Tm. | 0,6 - 0,8 % |
| SUBTIPO FORNAS (Gema, Gamás, Mañoca). | Anfibolitas - de grano fino con bandeo bien patente y algunos diferenciados - anatéticos - masivos de grano medio. | Anfibolita - de grano medio (anatética) o fino (no anatética). | Pirrotina» calcopirita» piritita en cubos. | Pirrotina - masiva con diseminación fisural, intergranular etc. de calcopirita y cubos tardíos de piritita. Frecuentes diseminaciones en los hastiales. | Cientos de miles de Tm. | 0,9 - 1,5 % |

FIGURA Nº 1



- | | | | | | | | |
|--|--|--|---|--|----------------------------------|--|--|
| | Depósitos aluvio-coluviales | | Anfibolitas en facies granulitas | | Contacto normal | | Anticlinal de Fase III |
| | Esquistos y gneises de la "Serie de Ordenes" | | Rocas metabásicas serpentinizadas | | Contacto discord | | Sinclinal de Fase III |
| | Lentejones métricos o decamétricos de anfibolitas en "Ordenes" | | Esquistos pelíticos en facies de "esquistos verdes" | | Contacto mecánico | | Principales indicios y yacimientos de sulfuros |
| | Lentejones cuarcíticos hacia la base de "Ordenes" | | Metagabros | | Frente de cabal | | |
| | Anfibolitas, facies anfibólica localmente de esquistos verdes | | Cartografía 1:11.500 aprox. | | Esquistosidad, d cantidad de buz | | |
| | Anfibolitas granatíferas megacrístalinas | | | | Falla | | |
| | Gneises migmatíticos con sillimanita | | | | Anticlinal de Fase | | |
| | Granito alcalino blastomilonítico | | | | Sinclinal de Fase | | |

ESCALA 1:50.000

GEOLOGIA 1:50.000 DEL AREA MINERA DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

(Magna modificado)

3 · EL MARCO GEOLOGICO REGIONAL

3.- EL MARCO GEOLOGICO REGIONAL

3.1.- GENERALIDADES

En la denominada "Zona Galaica Media-Tras os Montes" (Matte, 1968) y que va desde el Cabo Ortegal, La Coruña, y Carballo, hasta la zona de Aldeadávila en el Rio Duero, pasando por Bragança existen un conjunto de manifestaciones básicas ultrabásicas atribuidas al Precámbrico antiguo, que han sufrido alto metamorfismo, y aparecen siempre cabalgando a las formaciones más modernas que las circundan, constituyendo según algunos autores auténticos mantos de corrimiento. Tanto si son mantos como si no (que no es todavía el momento de discutirlo) constituyen unidades perfectamente bien individualizadas tanto litológica como estructuralmente, y son por otro lado el habitat de las mineralizaciones metálicas objeto del presente estudio. Así pues, para no descentrarnos del tema, - y dentro de un enfoque esencialmente minero procuraremos reducir al máximo todo cuanto no se refiere a los macizos básicos-ultrabásicos.

3.2.- LA ZONA GALAICA MEDIA - TRAS OS MONTES

Litológicamente esta zona se caracteriza por:

- a) Un precámbrico antiguo polimetamórfico de composición básica a ultrabásica, cabalgante (por lo menos) sobre todas las formaciones que lo circundan, constituyendo manifestaciones lopolitiformes.
- b) Un Precámbrico indiferenciado localizado en la parte occi-

MAPA GEOLOGICO DEL NW DE LA PENINSULA IBERICA MOSTRANDO LA SITUACION DE LOS COMPLEJOS BASICO-ULTRABASICOS

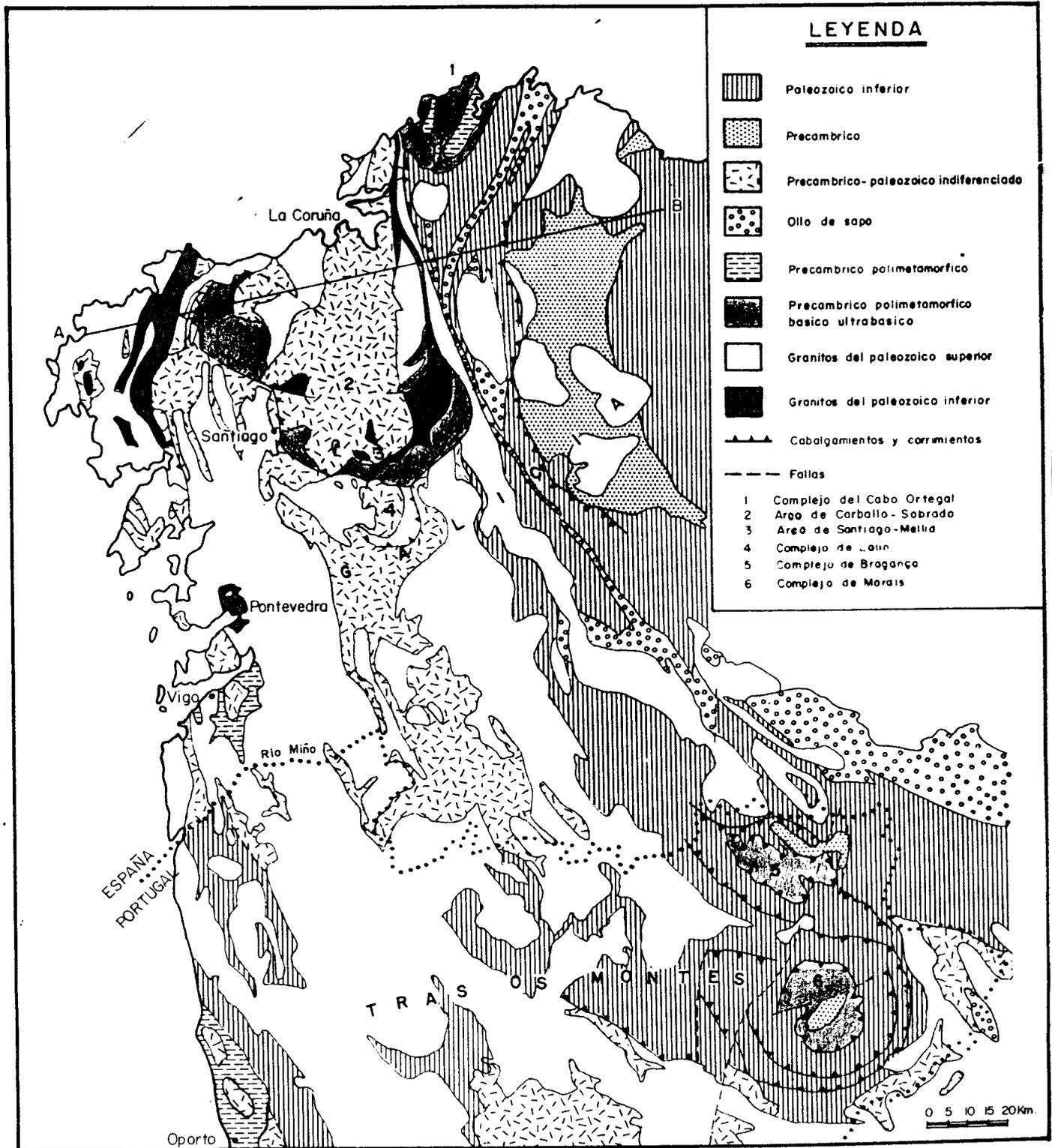


FIGURA nº 3

CONTENIDO EN NIQUEL DIFERENTES NIVELES LITOLÓGICOS.
BLOQUES F y E.

| | <u>Ni ppm.</u> | | <u>Ni ppm.</u> |
|--------------|----------------|---------|----------------|
| MBO FUENFRIA | | | 2300 |
| MBSM-17 | 100 | MBSM-29 | 100 |
| MBSM-18 | 450 | MBSM-30 | 155 |
| MBSM-19 | 2305 | MBSM-31 | 105 |
| MBSM-20 | 135 | MBSM-32 | 2305 |
| MBSM-21 | 150 | MBSM-33 | 1930 |
| MBSM-22 | 2508 | MBSM-34 | 2445 |
| MBSM-24 | 130 | MBSM-35 | 148 |
| MBSM-25 | 1995 | MBSM-36 | 400 |
| MBSM-26 | 100 | MBSM-37 | 250 |
| MBSM-27 | 2200 | MBSM-38 | 255 |
| MBSM-28 | 2200 | MBSM-39 | 245 |

dental de la zona en el que abundan los esquistos micáceos en transito a neises de grano fino a medio.

- c) El Precámbrico moderno de carácter porfiroide denominado - Ollo de Sapo, localizado en el límite oriental de la zona.
- d) Una compleja serie que comenzando en el Cámbrico hace transición al Ordovícico, y termina en el Gotlandiense. Todo - ello se localiza también en el límite oriental de la zona, y es precisamente en el núcleo de sus estructuras anticlinales donde aflora la formación Ollo de Sapo.
- e) Existen además dos generaciones (Precámbrica y Hercínica) de granitoides, ortoneis, y migmatitas, que completan el - conjunto litológico expuesto.

3.3.- LOS COMPLEJOS BASICOS - ULTRABASICOS

En el NO de la Península Ibérica y más concretamente en la "Zona Galaica Media - Tras os Montes" existen los - seis complejos de rocas básicas - ultrabásicas siguientes:

Complejo del Cabo Ortegal

Tiene forma elipsoidal seccionada por la línea de costa, y presenta una anchura de aproximadamente 15 Km., y una longitud de unos 30 Km.

Atendiendo las publicaciones de Parga P. (1.956), H. Koming (1966), Vogel (1967), Vogel y Warnaars (1967), Maas-kant (1970), I.G.M.E. (mapa 1:200.000 de 1971) y Engels (1972)

se han citado en esta zona los siguientes tipos de rocas:

| <u>Ultrabásicas</u> | <u>Básicas</u> |
|----------------------|---|
| Peridotitas diversas | Gabros y metagabros |
| Piroxenitas | Eclogitas |
| Dunitas | Granulitas y pirigarnitas |
| Serpentinitas | Anfibolitas de diversos tipos (con granate, con biotita, etc) |

Maaskant (1970) cita además sulfuros de níquel asociados a las peridotitas (pentlandita, pirrotina, healewoodita, y millerita). Por otro lado nos consta que en la investigación y sondeos efectuados por CHARTER, S.A. en el área de Cabo Ortegál además de Ni se obtuvieron valores muy significativos de Cu, en diseminaciones (más o menos removilizadas en vetitas en ocasiones) asociadas a dunitas y piroxenitas.

En la zona de Moeche, localizada inmediatamente al E del complejo básico de Cabo Ortegál, existen mineralizaciones de sulfuros (fundamentalmente pirita con calcopirita) asociadas a una unidad litológica de carácter vulcanosedimentario atribuida al Paleozoico, que por pertenecer al termino municipal de Cerdido (el cual también posee rocas básicas y ultrabásicas) citamos aquí al efecto de prevenir posibles confusiones.

Los Arcos de Carballo-Sobrado y de Santiago-Mellid

Estos arcos constituyen dos frentes de cabalgamiento, falla inversa, o sobrecorrimento, imbricados entre sí y que montan a su vez al complejo básico de Lalín (ver la fig.

nº 3).

Considerando estos dos arcos básicos como un sólo conjunto, tal como se ha hecho multitud de veces hasta hoy, resulta un área aproximadamente ovoide de unos 60 Km. de diámetro, en cuya periferia afloran las rocas básicas y ultrabásicas.

En este conjunto se pueden distinguir cuatro áreas principales de Rocas básicas:

a) El Área de Castriz - Carballo:

En ella se han descrito: Anfibolita

Gabros, metagabros y dioritas.

Werhlitas

Peridotitas diversas.

Eclogitas (localizaciones puntuales).

b) El área de Sobrado

En la cual se han citado: Anfibolitas

Peridotitas diversas

Gabros

c) El área de Mellid - Los Cruces:

En ella se han cartografiado: Anfibolitas

Anfibolitas gabroides

Pirigarnitas

Peridotitas indiferenciadas y serpentinitas.

Dunitas

Hazburgitas.

El conjunto ultrabásico se halla en el área de Mellid, mientras la zona de Las Cruces es claramente anfibolítica.

d) El complejo Básico de Santiago

Se trata de un área esencialmente anfibolítica más o menos granatífera, con manifestaciones esporádicas de piri-garnitas. /

Se ha citado también una pequeña zona de afloramiento de peridotita serpentizada en las aldeas de Andrade y Arines.

En conjunto el paquete de anfibolitas se caracteriza a grandes rasgos por una granulometría fina, y una esquistosidad metamórfica en bandas claras y oscuras. No obstante - existen varias esquistosidades patentes y zonas de diversos - tipos de recrecimientos de grano que en ocasiones tienen carácter migmatítico.

Es precisamente la zona básica de Santiago la que presenta las mineralizaciones objeto del presente informe, y en la que se ha realizado la totalidad del estudio.

El Complejo de Lalín

Se trata también de un frente de corrimiento, cabalgamiento o falla inversa que forma un arco casi completo de unos 15 Km. de diámetro, en cuya periferia se localizan - las rocas básicas, fundamentalmente de composición anfibolítica.

No se han citado rocas ultrabásicas en este complejo; sin embargo, ya fuera del arco de Lalín, entre Silleda, y Puentevea existen algunos asomos de peridotitas difíciles de interpretar hoy por hoy.

Los Complejos de Bragança y Morais (Portugal)

Se trata de dos macizos básicos lopolitiformes, - circular el de Morais, y elipsoidal el de Bragança, compuestos por anfibólitas diversas, granulitas, dunitas, piroxenitas, peridotitas diversas, serpentinitas y gabros.

También el complejo proceso polimetamórfico sufrido, y la notable complejidad estructural, además de las fases litológicas citadas, asemejan estos complejos básicos portugueses a los ya descritos en España.

De entre la diversa bibliografía consultada sobre esta zona, merece especial mención el trabajo de M.R. Portugal Ferreira (1965) en el que además se citan la pirita, pentlandita, pirrotina, y bravoita en la zona E y SE del macizo básico de Bragança.

4-EL ENTORNO METABASICO DE LOS CRIADEROS

4.- EL ENTORNO METABASICO DE LOS CRIADEROS

4.1.- SUBTIPO ARINTEIRO

El común entorno de los yacimientos de Arinteiro, Bama, Cerro de S. Sebastián, y Arca que integran este subtipo (vease el mapa de la Fig. 2), se caracteriza por una manifestación lenticular y arrosariada de anfibolitas rodeadas de esquistos neisicos, que describe un arco bastante cerrado cuyos extremos apuntan al sur; y que responde a un cierre periclinal de un anticlinorio complejo, aproximadamente simétrico, y relativamente laxo, de genesis tardia, y de eje aproximadamente N-S.

Por lo que a la litología se refiere hay que destacar que el cuerpo básico tiene un espesor real medio del orden de 80 a 100 m. que en principio son de anfibolitas de grano fino muy masivas, las cuales en algunos puntos conservan relictos de un bandeo borrado por los ultimos episodios metamórficos. Incluidos en el seno de esta anfibolita de grano fino y constituyendo en general su núcleo, existen cuerpos de anfibolitas granatíferas megacristalinas que a groso modo pueden considerarse concordantes con los límites exteriores del cuerpo básico.

La estructura es el factor que introduce mayores diferencias geológicas en el conjunto del anticlinorio, diferenciando claramente la zona de la mina de Arinteiro (en el flanco E. del anticlinorio) de la zona del yacimiento de Bama (en el flanco O. del anticlinorio).

La zona de Arinteiro se caracteriza por su mayor simplicidad, definida por un buzamiento al E de 30° a 40° que se ve afectado acá y allá por "drag folls" métricos. Sólo en el extremo norte y zona centro del yacimiento el rumbo general N-S de las anfibolitas se halla localmente replegado por una serie de estructuras que no interesa describir aquí, pero son precisamente estos replegamientos en el horizonte mineralizado los que constituyen las dos áreas de mayor acumulación de reservas de la mina de Arinteiro.

La zona del yacimiento de Bama se caracteriza por una notable energía y desarrollo de estructuras relativamente menores de plegamiento que culminan en un cúmulo de imbricaciones y que confieren gran complejidad no sólo a la geología en sí misma, sino también a la interpretación del yacimiento minero, y particularmente a la correlación entre los sondeos realizados.

Por lo que respecta a la estructura de las zonas del Cerro de S. Sebastian y de Arca diremos, que Arca no ha sido todavía lo suficiente investigada en este sentido como para definirla; y que los datos que poseemos sobre la zona del Cerro de S. Sebastian están constituidos por una cartografía 1:25.000 de toda la zona del anticlinorio en la que no hay ni un solo buzamiento y la única especificación estructural la constituye una serie de fallas que dan a la zona una apariencia excesivamente simplista. Lo mismo puede decirse de una serie de bloques diagramas apoyados en multitud de sondeos que nos muestra una estructura subhorizontal con pliegues muy laxos en la que los sondeos intersectan uno o dos horizontes mineralizados, y en ocasiones un nivel intermedio discontinuo de

esquistos neisicos. Nos parece demasiada simplicidad dada la proximidad de esta zona al yacimiento de Bama (1 a 2 Km), estudiado y cubicado (caracterizado por la complejidad estructural y las imbricaciones) sobre todo teniendo en cuenta que diferentes autores reconocen en este área hasta 7 fases importantes de plegamiento (4 precoces de pliegues apretados, y 3 tardias laxas).

4.2.- SUBTIPO FORNAS

El entorno común de los yacimientos de Fornás, Gema, Gamás, La Mañoca, etc. (Vease el mapa de la pg 8) se caracteriza por constituir un importante macizo de anfibolitas de grano fino, bandeadas a base de diferenciados metamórficos (metabasitas) de espesor centimétrico (1 a 3 cm. usualmente). En el seno de este macizo existen extensas y minúsculas zonas de diferenciados de grano medio y ocasionalmente grueso, que con frecuencia tienen caracteres propios de anatexita, pudiendo presentar un bandeo ancho (del orden de 10 a 20 cm) en ocasiones con pliegues symmingmaticos, o incluso pueden haber perdido por completo el bandeo tomando el aspecto de roca plutónica básica como ocurre en la casi totalidad de la corta de Fornás y otros muchos lugares.

Es fundamental tener presente las características estructurales de la zona y los procesos metamórficos ocurridos en este área y detallados en el capítulo siguiente, puesto que si por un lado no parece que hubiera originalmente diferencias composicionales importantes en este macizo básico, el hecho de que sobre él se hayan desarrollado 5 fases de metamorfismo, (habiendose alcanzado la facies granulítica) y 7 fases de ple-

gamiento (cada cual de las cuatro primeras con su propia esqui-
stosidad y de las que solo permanece en general la S_4) se
comprenderá que cualquier intento de encontrar una gufa lito-
lógica es inútil; y más aún si a todo ello añadimos los posi-
bles sobrecorrimientos precoces ya borrados y las áreas ana-
téticas.

**5 · CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE EL ESTUDIO
GEOLOGICO Y METALOGENICO DE LOS CRIADEROS
DE FORNAS Y ARINTEIRO**

5.- CONSIDERACIONES PREVIAS SOBRE EL ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENICO DE LOS CRIADEROS DE FORNAS Y ARINTEIRO

Dado que entre los yacimientos de cobre del área de Santiago existen diversos criaderos del subtipo de sulfuros masivos (Subtipo Fornás) y del subtipo de sulfuros diseminados (subtipo Arinteiro) nos hemos visto obligados (por imperativos presupuestarios) a concentrar nuestro trabajo de campo sobre un ejemplo de cada uno de los subtipos, eligiendo precisamente los criaderos de Fornás y Arinteiro en razón de ser los dos únicos que se encuentran ya en fase de explotación (a cielo abierto) lo cual facilita enormemente cualquier tipo de trabajo que se pretenda realizar.

Los yacimientos conocidos del subtipo Arinteiro se localizan sobre una peculiar y singular formación de anfibolitas pegmatoideas ubicadas a lo largo del área periclinal - Cerro de S. Sebastian - Bama - Arca - Arinteiro, constituyendo el corazón de un paquete de anfibolitas de grano fino de 80 a 100 m. de espesor real. En estas formaciones del cierre periclinal no parecen caber más yacimientos de los que actualmente ya se conocen y que ya están mejor o peor investigados. (vease el mapa de la pg 8).

Los yacimientos conocidos del subtipo Fornás se localizan todos sobre un macizo de metabásitas de un diametro aproximado de 7 a 8 Km. intensamente replegado por 7 fases de plegamiento y cuyas posibles aunque improbables diferencias litológicas originales han sido borradas por 5 fases de metamorfismo. En este macizo se conocen yacimientos de sulfuros masivos como los de Fornás, Gema, Gamás, La Mañoca, etc.

todos ellos próximos o inmediatos a la superficie topográfica habiendo además espacio material y buenas posibilidades estadísticas de que existan otros yacimientos a mayor profundidad que los actualmente conocidos.

Por las razones que acabamos de citar respecto al contexto del subtipo Fornás y que contrastan con las del contexto del subtipo Arinteiro, se decidió emplear el mayor esfuerzo y la mayor parte de nuestro presupuesto en el estudio geológico del área de Fornás. Cabe añadir que la densidad de sondeos de la zona de Arinteiro, correlacionados con gran detalle geológico supone un conocimiento mucho más elaborado de este yacimiento. En el resto de las concesiones RTP ha llevado a cabo una cartografía muy completa que no justifica su repetición. Igualmente la geofísica y geoquímica realizadas por el explotador son un esfuerzo de investigación difícilmente ampliable. En consecuencia, se decidió hacer un estudio geológico muy detallado de un área tipo pensando en la aportación que suponía al conocimiento de la zona la incorporación de una técnica no explotada en todas sus posibilidades.

**6-ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENICO
DEL YACIMIENTO DE FORNAS**

6.- ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENICO DEL YACIMIENTO DE FORNAS

6.1.- LOCALIZACION GEOLOGICA DEL SECTOR ESTUDIADO

En el fragmento del mapa geológico 1:50.000 (MAGNA modificado, que se expone como fig. nº 2 en la página nº 8 se ha situado la zona estudiada, la cual está contenida en las metabasitas del complejo de Ordenes. En el seno de estas metabasitas se encuentra la mineralización, cuyo origen ha sido el objeto de este estudio.

6.2.- METODOS UTILIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

6.2.1.- Estudio sobre el terreno

Ha consistido en esencia en la toma de datos y en su situación precisa sobre un fotograma, a escala aproximada 1:10.000. A partir de este fotograma se han construido una serie de superponibles con la inclusión de los distintos datos.

Las particularidad de relieve y vegetación en la zona obligan a trabajar a base de hacer observaciones más o menos puntuales en los pequeños afloramientos existentes, dispersos y numerosos. La toma de datos y muestras resulta asimismo un tanto dispersa y la reconstrucción geológica tropieza con dificultades, desde el momento en que no se dispone de niveles de referencia.

6.2.1.1.- Mapa de afloramientos (Mapa nº 1 del anexo de planos)

Por las razones reseñadas se ha seguido un orden -

lógico en el trabajo. En primer lugar se ha confeccionado un mapa de afloramientos en el que se han situado todos los puntos de observación existentes en el área, enumerados de acuerdo con los itinerarios efectuados en el campo.

6.2.1.2.- Mapas litológicos y de indicios. (mapas n^{os}. 2 y 3)

En otros dos superponibles transparentes se han reflejado los datos concernientes a las diversas observaciones de carácter lito-petrológico, hechas en el campo y completadas tras el estudio microscópico de láminas.

Estos dos superponibles y, sobre todo, el obtenido a base de establecer dominios de determinadas características, muestran varios hechos importantes:

1º.- Los puntos con piroxeno (láminas estudiadas al microscopio), están incluidos, en general, en las zonas que tienen granate. Estas zonas son muy irregulares. El estudio microscópico mostrará que tanto granates como piroxenos están fuertemente retrometamorfizados, de modo que su distribución superficial no obedece a ningún patron ni estructural ni composicional.

2º.- El límite de las zonas en que aparecen numerosas segregaciones e inyecciones de venas leucocratas, procedentes de removilizaciones posiblemente ligadas a anatexia, es también relativamente irregular y no coincide con el límite de las zonas granatíferas. Es posible que exista una ligera tendencia de estas zonas a orientarse en direcciones N140E, en coincidencia con fracturas de las que se hablará posteriormente. De todos

modos esta tendencia no está en absoluto clara.

3º.- El límite de zonas con "ojos" alargados o aplastados de feldespatos también es irregular y no coincide con los ya descritos. Por el estudio microscópico, sabemos que estos "ojos" son segregaciones antiguas deformadas durante varias fases con desarrollo de esquistosidad y que conducen a la formación del bandeo y de la S principal actualmente visibles. Si, tal como parece probable, estas segregaciones antiguas eran ya de por sí irregulares en su origen, su distribución actual no tiene por que obedecer a ningún patrón litológico o estructural.

4º.- La distribución de los sulfuros aparece más o menos claramente ligada a direcciones N130E-N150E, en algunos casos en coincidencia con zonas removilizadas tardíamente. Más adelante se volverá sobre esta cuestión.

6.2.1.3.- Mapa estructural (mapa nº 4 del anexo de planos)

En el se han representado la esquistosidad principal S₄, la linealidad sin'esquistosa l₄ y los ejes de pliegues post'esquistosos.

Se debe aclarar que, tras el estudio microscópico, la S principal observada en el campo no es como se pensó en un principio la S₃ sino la S₄ ya que, en los granates antiguos existe una esquistosidad interna que se ha considerado como S₁.

La presencia de un "close jointing" tardío bien sistematizado, que al microscopio se muestra como fractura de tensión rellenas de clinozoisita + cummingtonita acicular + cuar

zo, se ha interpretado como conectado a un plegamiento tardío del que se hablará posteriormente; por tal razón en el mapa es tructural se ha representado la intersección C.j.X. correspon diente a la esquistosidad principal y se la ha interpretado - como congruente con ejes de pliegues postesquistosos tardíos.

También en este mapa se han representado las fallas y zonas fracturadas (signo \otimes) observadas en los distintos pun tos.

Con sólo observar la distribución superficial de la esquistosidad principal (S_4) se pueden delimitar varios - dominios estructurales diferentes: unos en que la S_4 se orien ta regionalmente, señalizados con la letra R, y otros con la S_4 en dirección anómala (entre N60E y N100E), señalizados con la letra A. Esta distinción es necesaria para poder interpretar estructuralmente el área estudiada y sacar, posteriormente, una serie de consecuencias conectadas con la evolución - tectónica de la misma y, por ende, con la génesis de la mine- ralización. Antes de dar este paso definitivo, pasaremos re- vista a los diagramas en los que se han representado los da- tos estructurales disponibles.

6.2.1.3.1.- Diagramas efectuados con los datos de campo y su interpretación. (Vease su localización en el in- dice de planos).

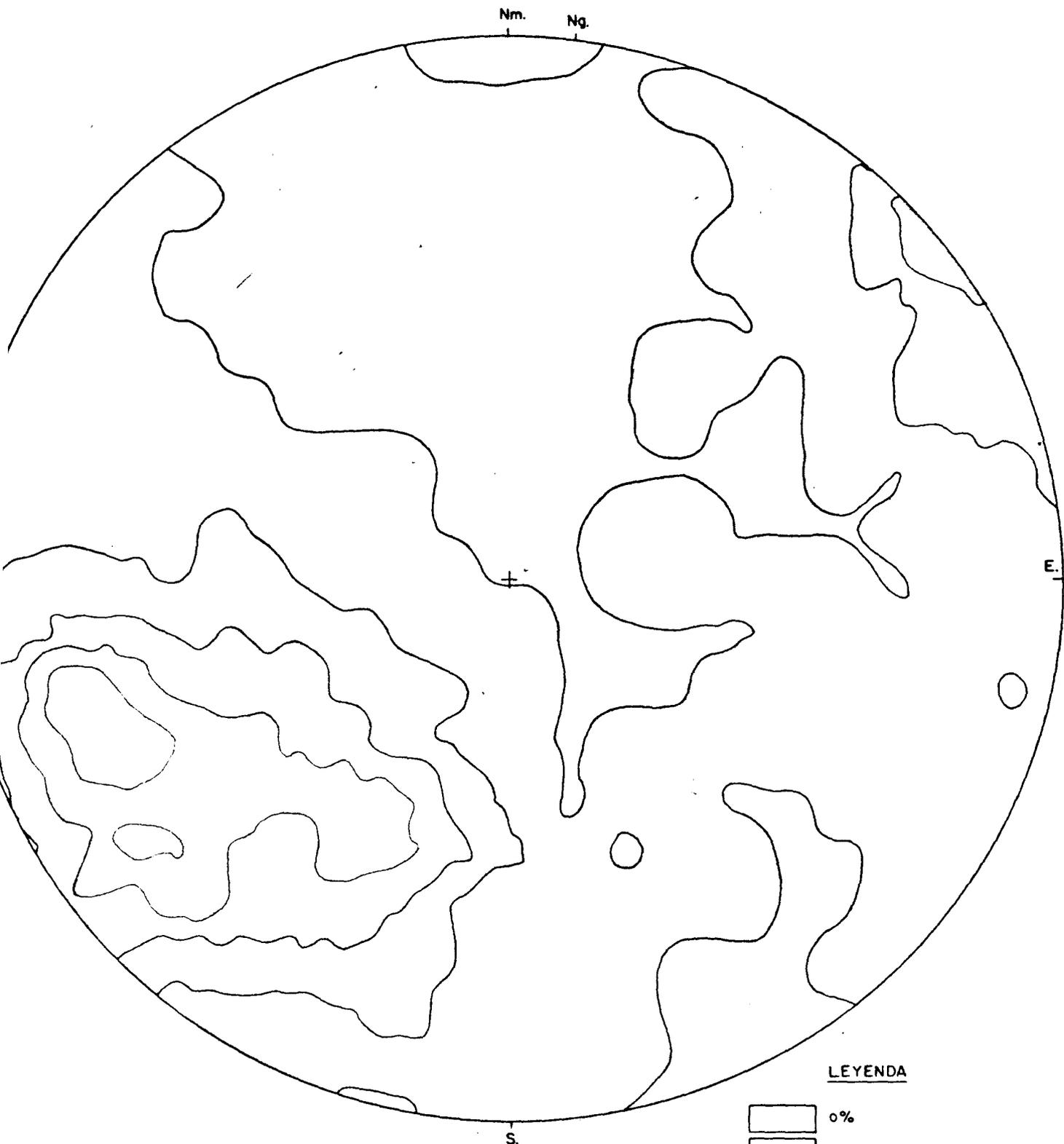
En todos ellos se ha utilizado falsilla equiareal de Schmidt y se ha tomado el hemisferio inferior para la re- presentación.

A) Diagramas 1, 2 y 3. En ellos se han representado los polos

ESTEREOGRAMA N.º 1

ESQUISTOSIDAD PRINCIPAL

(458 polos del sector al E. del meridiano de la corta de Fornás)



LEYENDA

| | |
|---|-------------|
|  | 0% |
|  | DE 0 A 6% |
|  | DE 6 A 12% |
|  | DE 12 A 20% |
|  | DE 20 A 28% |
|  | > DE 28% |

de las medidas de S_4 . El diagrama 1 nos muestra la distribución de la esquistosidad principal al E del meridiano de la mina, donde esta esquistosidad sigue en general la distribución regional.

El diagrama 2, para un total de 670 medidas, corresponde a la distribución de S_4 en todos los dominios R, considerados conjuntamente.

Ambos diagramas son idénticos y de ellos se extrae como conclusión de que existen tres máximos de concentración de polos relativamente próximos, lo cual indica la existencia de plegamientos postesquistosos con generación de pliegues laxos (poco apretados), hecho que ya se había comprobado sobre el terreno.

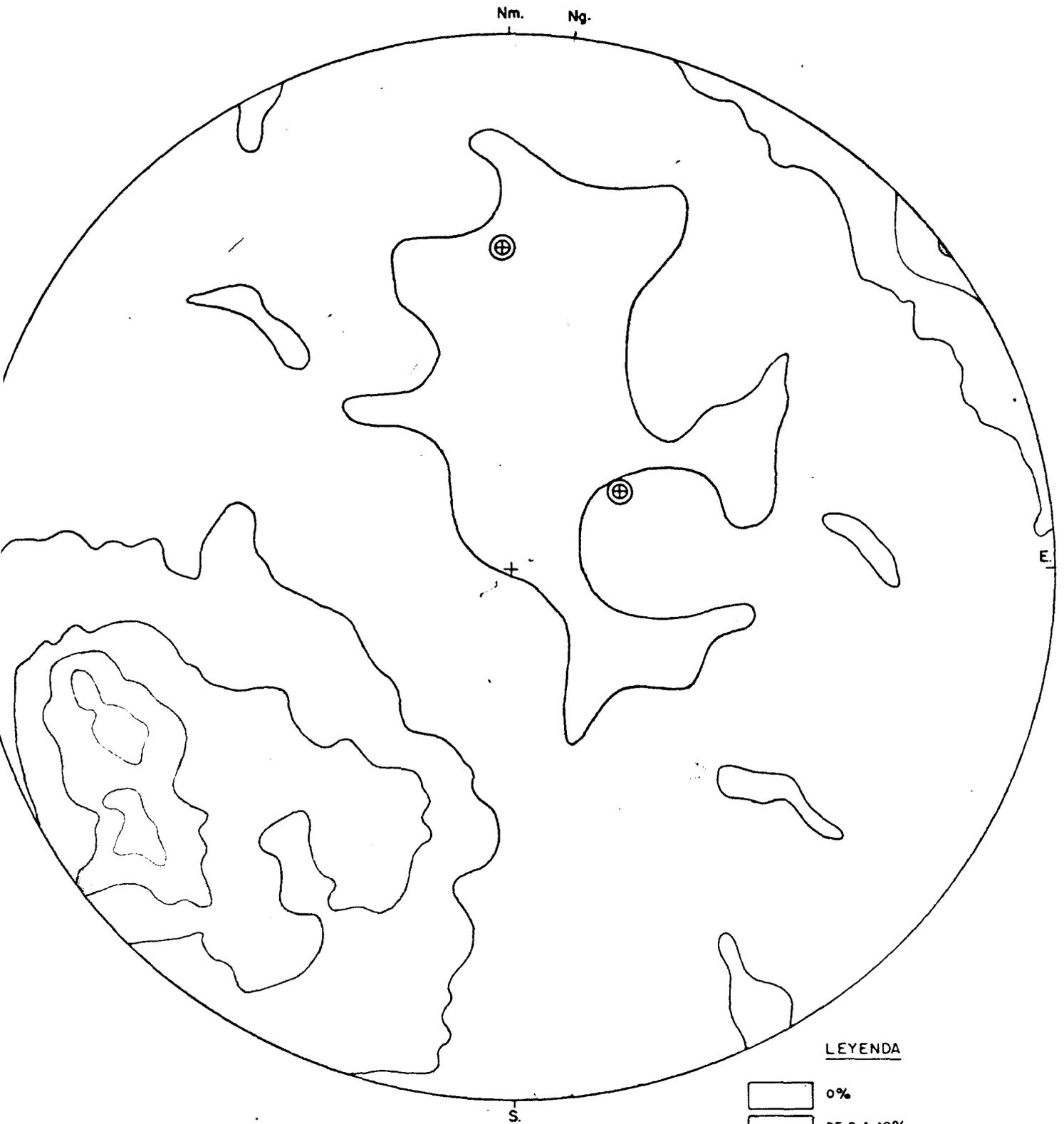
El diagrama 3 muestra un sólo máximo ligeramente alargado, en función indudablemente de la existencia de pliegues postesquistosos, para la distribución de la S_4 en los dominios A.

Como la diferencia en orientación de S_4 entre dominios R y A sólo puede deberse a pliegues cartográficos y/o fallas, (las cuales sólo podrían haber originado desplazamientos pero no rotación de mucha cuantía), se pueden superponer los diagramas 2 y 3 con objeto de ver la distribución de la esquistosidad en todo el sector estudiado. Efectuada esta superposición se obtiene que la distribución de polos de S_4 sigue dos círculos máximos, cuyos polos correspondientes, representados con un triple círculo en el diagrama 2, materializan las orientaciones de los ejes de los plegamientos postesquistosos. De este modo se pone de manifiesto que existen dos ple

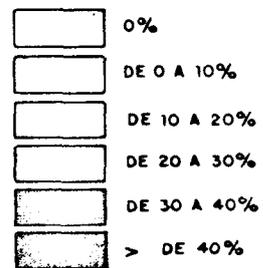
ESTEREOGRAMA N° 2

ESQUISTOSIDAD PRINCIPAL

EN DOMINIOS DE DIRECCION REGIONAL (R en el plano) 670 polos



LEYENDA



gamientos con superficies axiales bastante verticalizadas: uno, en la dirección aproximada N50E-N60E con un eje fuertemente - buzante en este sentido; y b) otro, aproximadamente N-S con eje menos buzante hacia el N. La superficie de ambos plegamientos sobre la S_4 originaría una geometría en "caja de huevos" oblicua, de escala cartográfica, que no se detecta en el sector estudiado porque probablemente el plegamiento más apretado y de menor longitud de onda es el del apartado a) y porque el flanco del mismo mejor representado arealmente es el correspondiente a los dominios R. En los dominios A se observan, claramente cambios de dirección en S_4 que obedecen a la existencia de pliegues de dirección aproximadamente N50E a N60E.

El plegamiento N-S debe ser de mayor amplitud y - mayor longitud de onda y sólo se podría observar en áreas de mayor extensión (ver mapa estructural de Van ZUUREN, 1.969).

Con sólo ambos plegamientos postesquistosos se puede explicar la disposición actual, bastante buzante, de la S_4 sin necesidad de admitir un plegamiento previo que apartase fuertemente dicha esquistosidad de la posición horizontal. Así pues, admitimos que S_4 era subhorizontal antes de los pliegues aludidos y que su posición actual se debe a la interferencia de ambas fases de plegamiento. Asimismo, los micropliegues correspondientes poseerán ejes buzantes en función de la situación local de S_4 y no tienen por que ser horizontales, aún - cuando los ejes cartográficos de estos plegamientos lo sean - en algún punto.

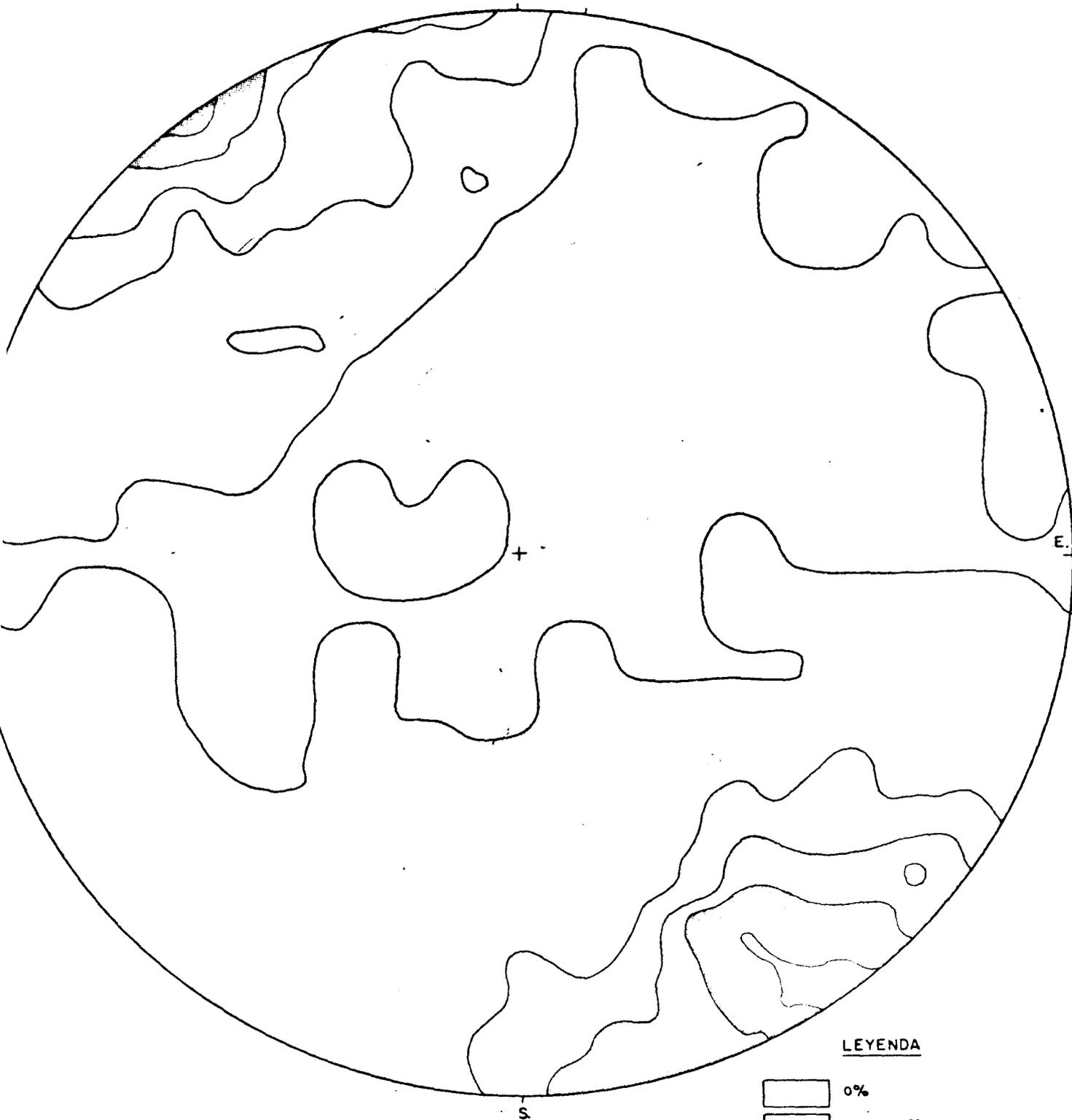
La cronología relativa de estos plegamientos postesquistosos y suaves es imposible establecerla, por lo que indis

ESTEREOGRAMA N.º 3

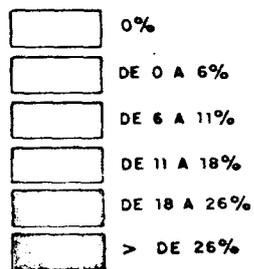
ESQUISTOSIDAD PRINCIPAL DE ORIENTACION ANOMALA

297 polos

Nm. Ng.



LEYENDA



tintamente los denominamos pliegues de fases 5 y 6.

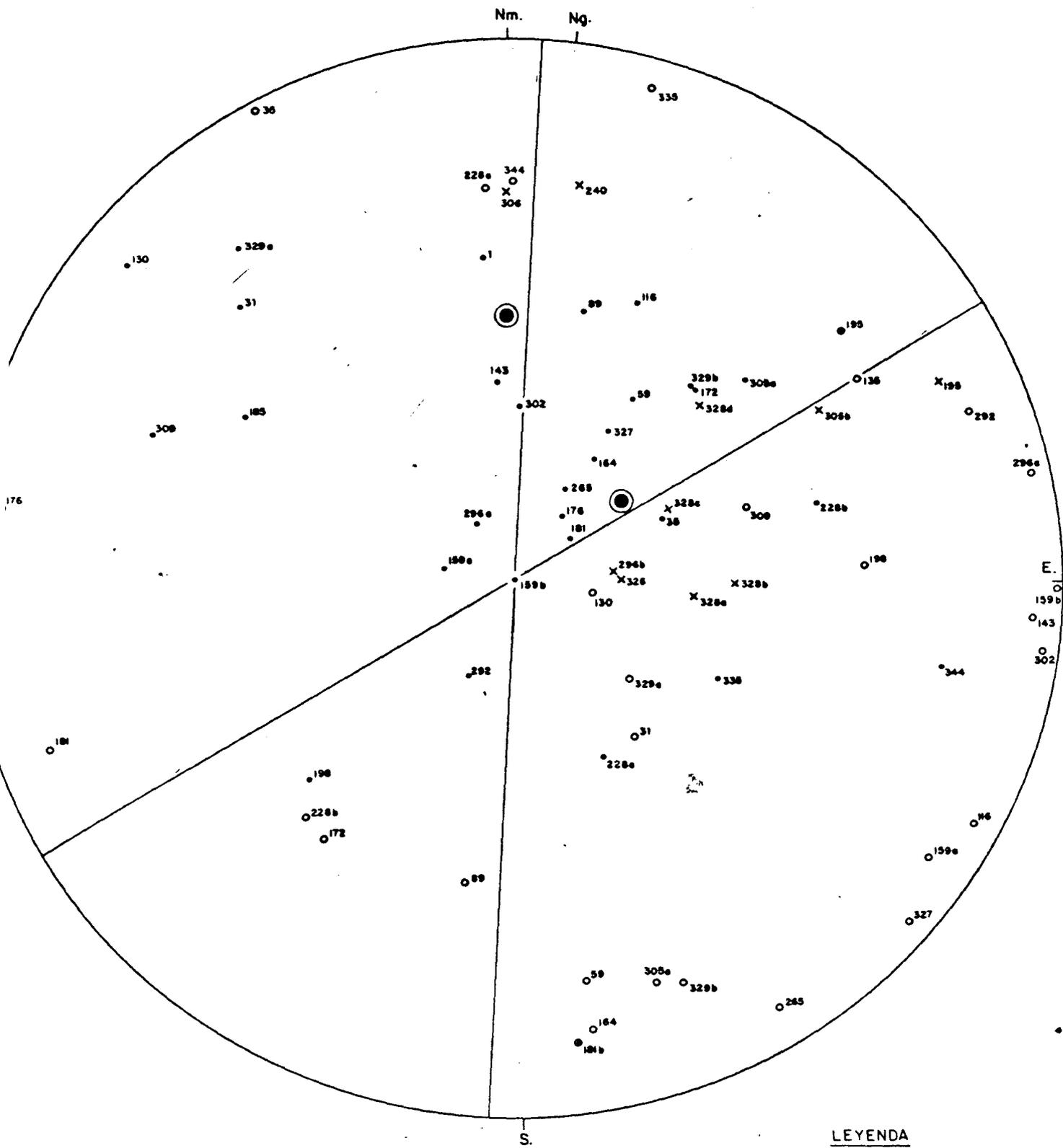
B) Diagrama 4. En él se han representado los ejes de pliegues mesoscópicos medidos directamente en el campo y los deducidos a base de medidas en los flancos. Se han añadido algunas medidas de crenulaciones observadas en venas de cuarzo. Igualmente se han incluido las representaciones de las superficies de simetría para los pliegues deducidos a partir de medidas de flancos con objeto de poder asignarlos a una dirección u otra de plegamientos en aquellos casos en que los ejes buzaran fuertemente. Para que no haya confusiones se han numerado los polos de los ejes con el número de cada estación y se han rodeado con círculos de color diferente. Sobre el diagrama aparecen también dos líneas con sus colores correspondientes que indican las direcciones generales de los dos plegamientos postesquistosos. Los números de estaciones subrayados en rojo corresponden a medidas en dominios regionales y los subrayados en azul a dominios de S_4 anómala.

Se observa que los micropliegues y los mesoplegues se ordenan preferentemente según las dos direcciones (N50E a N60E y N-S aproximado) de plegamientos que ya se han deducido a partir de los diagramas 2 y 3. Estas dos direcciones previamente deducidas aparecen en el diagrama 4 con dos puntos gruesos y coloreados.

En el área estudiada aparece mayor número de pliegues menores según la dirección N50E-N60E que según la dirección N-S, lo cual concuerda con la suposición, ya avanzada, de que el primer plegamiento citado probablemente produce pliegues de menor longitud de onda y quizá más apretados.

ESTEREOGRAMA N.º 4

PLIEGUES POST-ESQUISTOSOS



LEYENDA

- x EJE MEDIDO
- SUP. DE SIMETRIA
- CRENULACION
- β DEDUCIDO

N.4° E. }
 N.59° E. } Respecto a N. Mag.

Como puede deducirse por la representación en falsilla, se trata de pliegues bastante buzantes en general, sobre todo los de dirección N50E-N60E. Este hecho, como ya se ha advertido, se debe exclusivamente a la orientación local de la S_4 , que viene impuesta por la interferencia de pliegues de mayor envergadura (cartográfica) debidos asimismo a las fases de plegamiento 5 y 6.

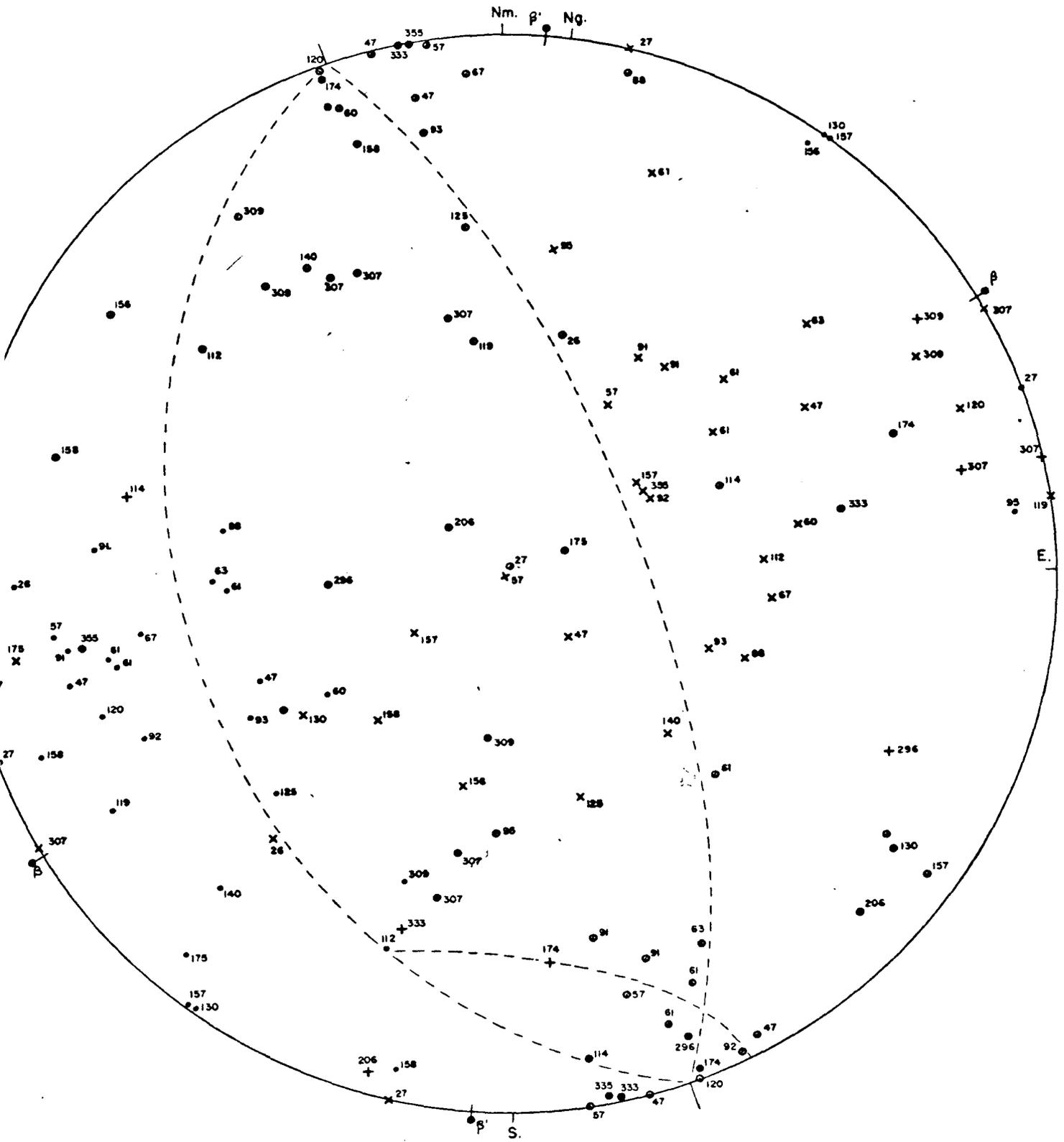
Los pliegues postesquistosos observados en el campo son poco apretados, disarmonicos y asociados, quizás tardíamente, a las segregaciones post- F_4 - S_4 (ver resumen petrogenético, incluido en el estudio petrológico). Su particular geometría sólo se explica admitiendo una gran plasticidad en las metabasitas, la cual sólo puede conectarse con la fase anatéctica post-esquistosa. Los esfuerzos compresivos regionales que originarían estos plegamientos se situarían entre las direcciones E-W y N140E.

C) Diagrama 5. En él se han representado el "close jointing" (Cj), la orientación de la S_4 en los puntos en que tal estructura se presenta y la intersección de ambas superficies, que se ha interpretado como linealidad de intersección Cj S_4 , paralela a los ejes de pliegues más tardíos, de los que no se ven otras estructuras menores que el mencionado "close jointing".

Este "close jointing" se muestra en diversos puntos del sector estudiado (ver mapa estructural) como un diaclasado bien sistematizado relleno por clinozoisita ⁺ cumingtonita ⁺ cuarzo (ver resumen petrogenético), que forma generalmente un ángulo entre 60° y 90° con S_4 . En contados casos

ESTEREOGRAMA N.º 5

- CLOSE JOINTING REGIONAL X
- CLOSE JOINTING ANOMALO +
- ESQUISTOSIDAD PRINCIPAL EN ZONAS EN QUE EXISTE C.J. ●
- INTERSECCIONES DE LA ESQUISTOSIDAD PRINCIPAL C.J. (41 MEDIDAS)... ●
- ESQUISTOSIDAD PRINCIPAL ANOMALA ●



el ángulo es menor de 50° . Al representar en el diagrama las

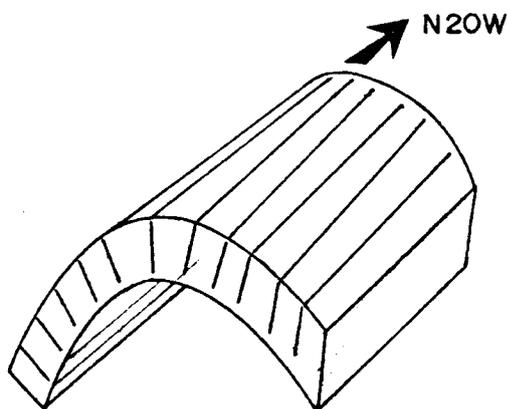


Fig.- 4

distintas posiciones de "close jointing" y las de la S_4 , se observó que ambas superficies se situaban mayoritaria y conjuntamente en un mismo círculo máximo subvertical de dirección aproximada N70E, (ver en el diagrama los polos representados por puntos y por cruces). Esto hizo pensar en que tal distribución obedecía a un nuevo plegamiento poco

apretado con ejes de dirección aproximada N160E. De este modo el "close jointing" representaría un diaclasado tensional -- (diaclasas rotacionales y radiales) generado a modo de esquistosidad de fractura y que generalmente forma ángulos mayores de 60° con la S_4 (ver figura 4 adjunta). Por tal razón se han representado las intersecciones Cj X S_4 en falsilla y en el mapa estructural, ya que nos darán la situación local de tal linealidad. Como era de esperar la linealidad está dispersa -- en virtud de su superposición a una estructura previa producida por las fases 5 y 6. La mayoría de los polos se encuentran incluidos entre los dos círculos máximos construidos en el diagrama que nos ocupa. La mayor dispersión en el área estudiada se observa a lo largo de la zona incluida en estos círculos y es debida a la presencia previa del plegamiento N50-60E que es casi ortogonal. El plegamiento N-S apenas si influye por ser casi coaxial.

No se han observado microplegues de esta fase, que sería la fase 7 de deformación. Estimamos que es relativamente

tardía en función de la paragénesis de relleno del "close - jointing" (semejante a la encontrada en zonas fracturadas) y de la génesis del mismo (ruptura por tensión), hechos que implican ya un comportamiento frágil de las metabasitas (en contraposición del comportamiento plástico en las fases 5 y 6).

Los esfuerzos regionales habría que situarlos en una dirección aproximada N70E.

En el diagrama se han señalado también las direcciones de los pliegues 5 y 6 con las letras y . Los números subrayados en rojo corresponden a dominios R y los subrayados en azul, a dominios A.

D) Diagrama 6. Este diagrama se ha incluido para demostrar que las estructuras lineales sinesquistosas (ejes de pliegues de fase 4, linearidad l_4 de orientación o de crenulación), medidas directamente sobre el terreno o deducidas a partir de medidas de flancos u otras superficies, se distribuyen a lo largo de un círculo máximo que es el que representa la orientación regional de S_4 . Solo se apartan las medidas efectuadas en los dominios A (señaladas en color azul), las cuales, de todos modos, caerían dentro de otro círculo máximo correspondiente a la situación de S_4 en zonas de orientación anómala de S_4 (existen pocas medidas para corroborar totalmente este supuesto).

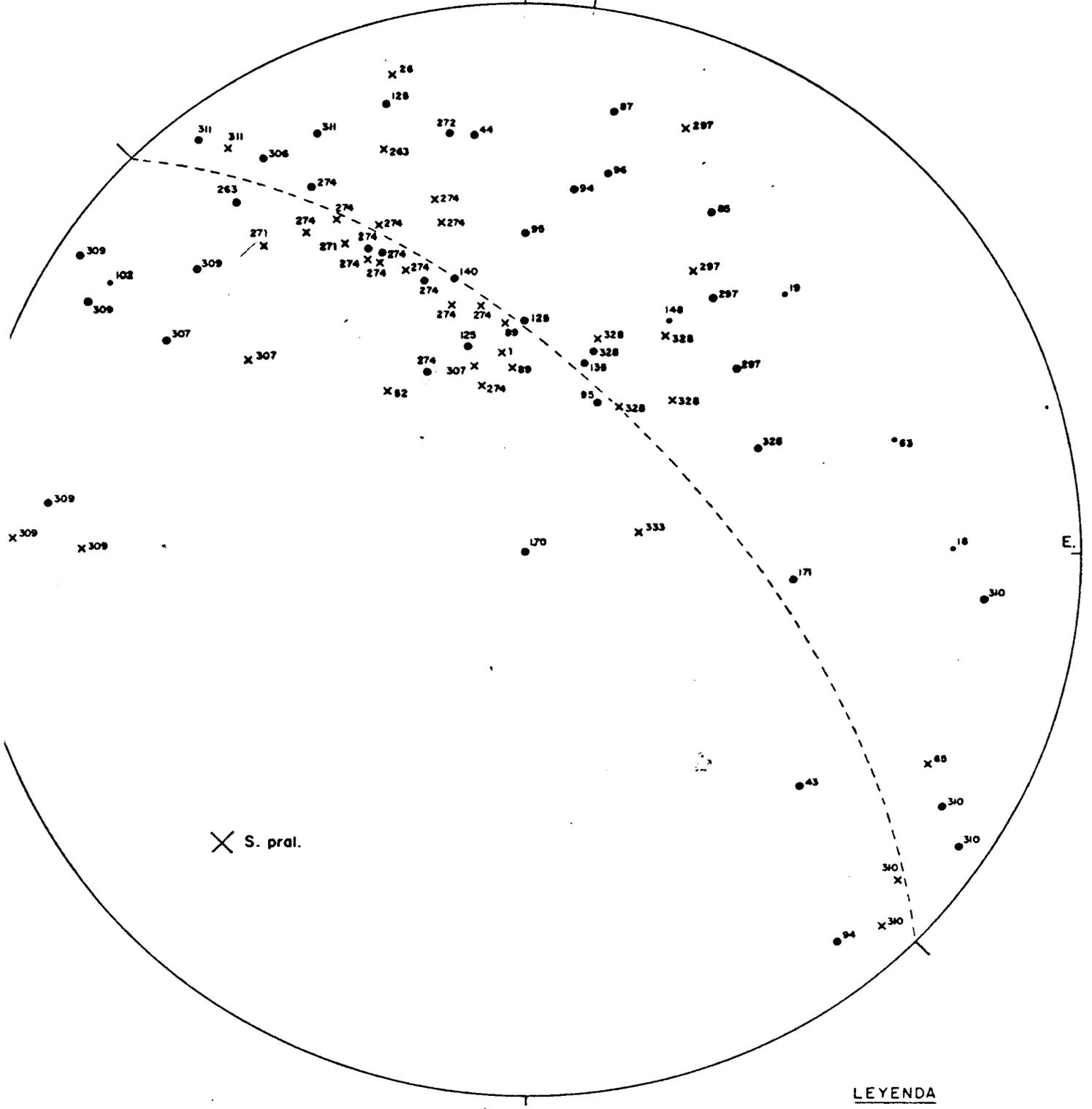
La dispersión de l_4 a lo largo de estos círculos máximos sólo es explicable por la existencia previa a la fase F_4-S_4 de otras deformaciones. La l_4 , coincidente con la -

ESTEREOGRAMA N.º 6

ESTRUCTURAS MENORES SINESQUISTOSAS (F₃)

78 polos

Nm. Ng.



× S. pral.

LEYENDA

- × β MEDIDO
- LINEARIDAD DE ORIENTACION
- EJE DEDUCIDO
- ⊙ LINEARIDAD DE CRENUACION

orientación de pliegues de la fase F_4-S_4 , se superpone a superficies S_2 y S_3 predominantemente buzantes al N. Por esta razón la mayoría de los polos de la l_4 buza hacia el N. Si la S_4 no hubiese sido deformada posteriormente se podrían extraer conclusiones sobre la orientación de los últimos pliegues sinquistosos.

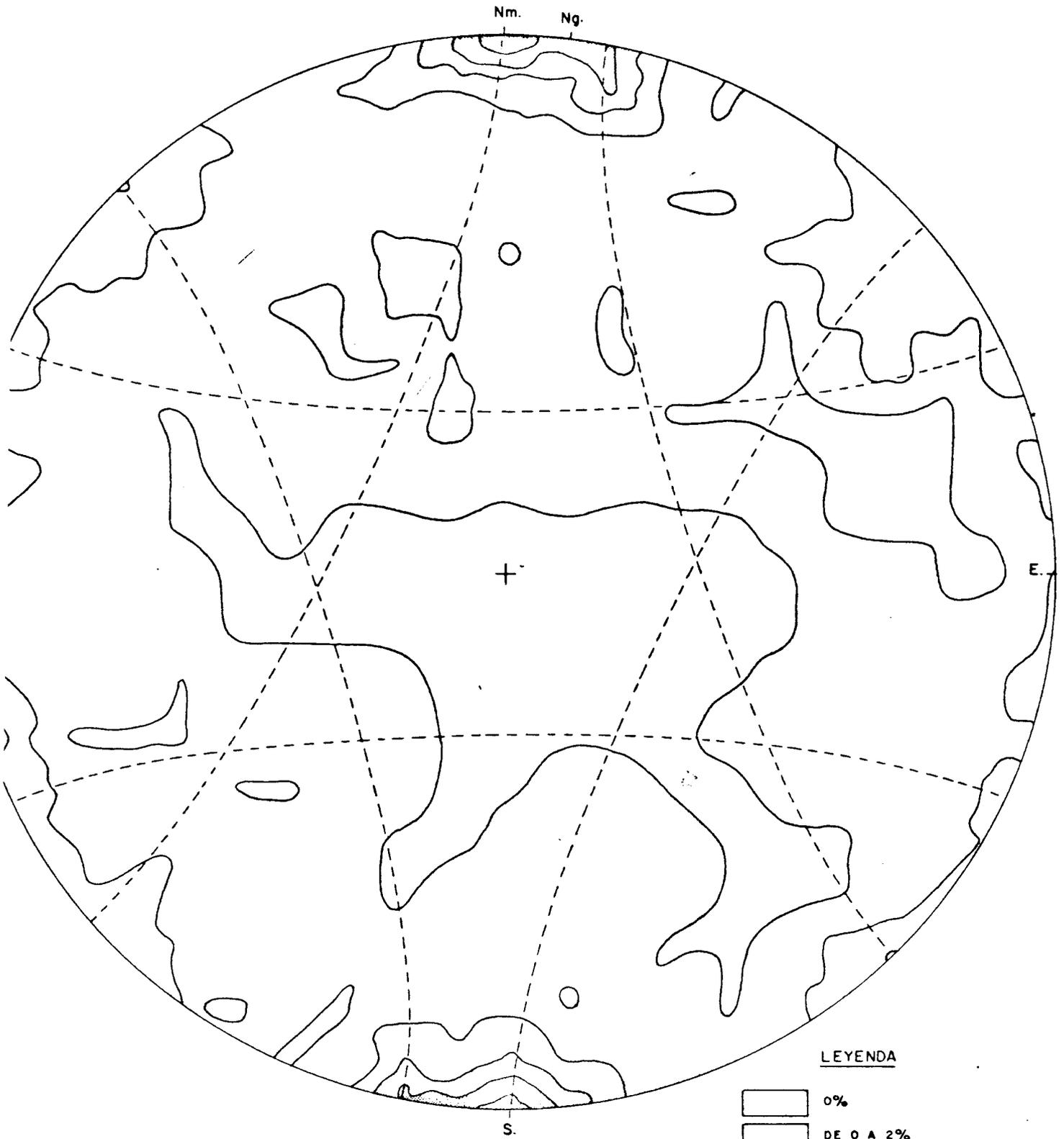
La deducción más interesante del diagrama es que, en virtud de la congruencia existente entre ejes de pliegues de F_4 y la linealidad de la orientación de minerales, ésta es claramente una linealidad b, paralela a los ejes de los pliegues.

E) Diagramas 7, 8 y 9. En ellos se han representado las estructuras de fractura no penetrativas, que son las más recientes de las observadas. Todas ellas parecen obedecer a la existencia de esfuerzos horizontales, que se deducirán a partir de la distribución y/o régimen de tales fracturas.

El diagrama 7 muestra la distribución de las diaclasas, la mayor parte de las cuales son verticales. De la distribución de los máximos se deduce la existencia de esfuerzos compresivos máximos según las direcciones N180E, N7W y N66E (respecto al N geográfico). Los más netamente claros son los esfuerzos citados en primero y último lugar, que originarían numerosas diaclasas de cizalla de dirección aproximada E-W y otras, menos numerosas, según las direcciones --- N133E y N38E (respecto al N geográfico). El esfuerzo N7W está relativamente definido gracias a la existencia de cierto número de diaclasas verticales aproximadamente N-S, que se pueden interpretar como fracturas tensionales, y, sobre todo, gracias a la existencia de diaclasas y microfallas inver

ESTEREOGRAMA N.º 7

DIACLASAS (246)



Esfuerzos deducidos
(respecto al N. mag.)

1° N. 115° E.
2° N. - S.
3° N. 73° E.

LEYENDA

| | |
|---|-----------|
| □ | 0% |
| □ | DE 0 A 2% |
| □ | DE 2 A 4% |
| □ | DE 4 A 6% |
| □ | DE 6 A 8% |
| □ | > DE 8% |

sas.

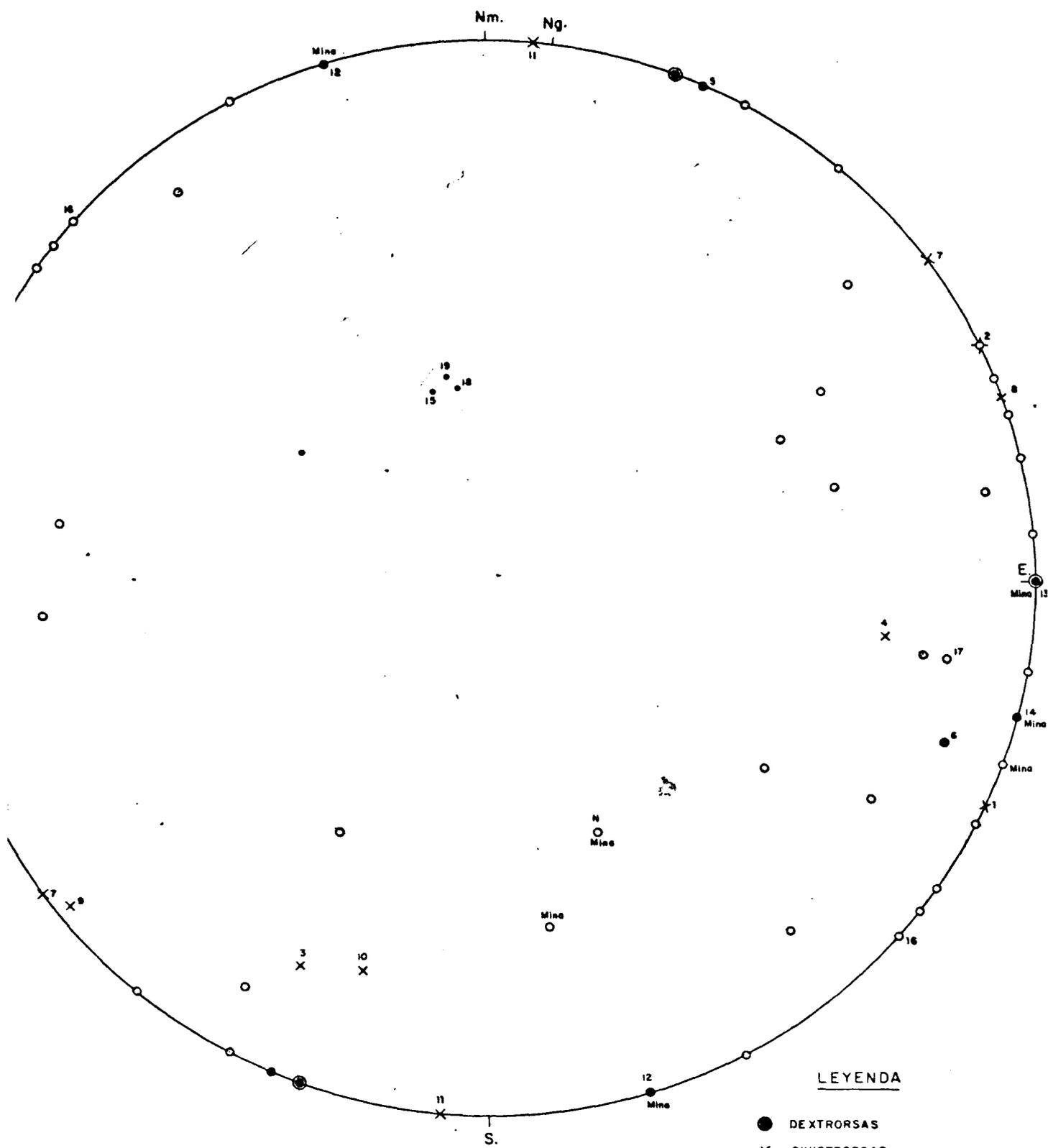
Los círculos menores reseñados en el diagrama correspondiente al lugar geométrico de los polos de fractura originados por tales esfuerzos; (se ha supuesto que las -- fracturas forman de 25° a 30° con el esfuerzo máximo compresivo).

La deducción de los esfuerzos viene apoyada, por otra parte, por el estudio de la distribución de fallas, en algunas de las cuales se conoce el régimen con que han funcionado. Las fallas son en general más o menos verticales y han funcionado como desgarres. Algunas microfallas son inversas. De ellas en el diagrama 8, se han numerado las de régimen conocido y/o que presentan estrías que han podido medirse en el campo. Teniendo en cuenta que el esfuerzo máximo compresivo debe formar como en las diaclasas, un ángulo entre 25° y 30° con las fallas originadas y la orientación de las estrías, se han obtenido para la orientación del esfuerzo máximo, las siguientes direcciones respecto al N geográfico: N114E, N7W y N61E (diagrama 9), en bastante congruencia con los resultados a partir de diaclasas. Para las fallas, los dos primeros esfuerzos son los más netos; la dispersión observada para el tercero es un indicio de que éste ha sido el último en actuar de modo que podrían haberse reactivado fracturas previas cuya orientación no coincide con la teórica.

Como consecuencia de la actuación de los esfuerzos N114E y N61E, se generan algunos desgarres E-W (coincidentes con un buen número de diaclasas) que han podido funcionar sucesivamente como dextrorsos y sinistrorsos.

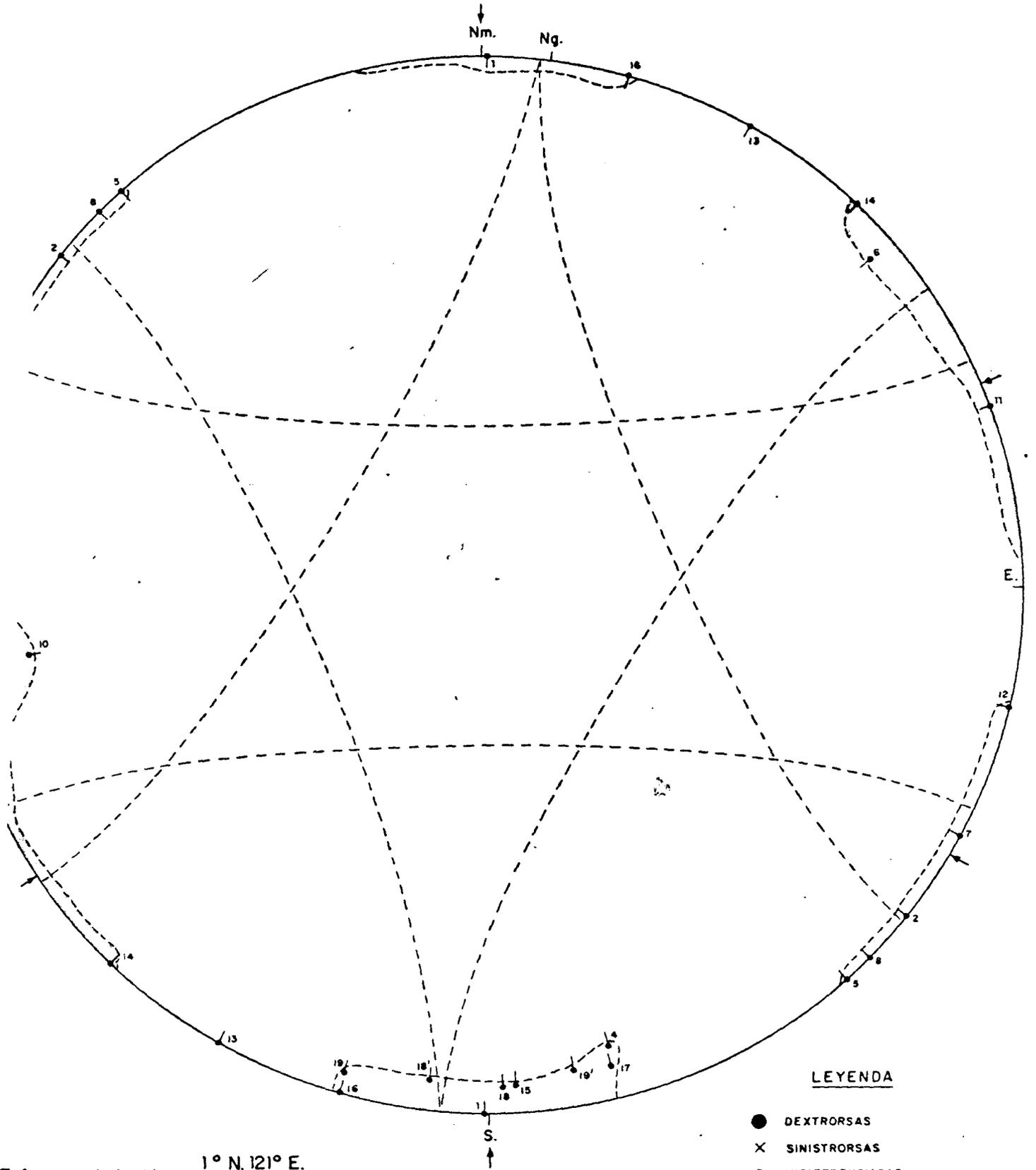
ESTEREOGRAMA N.º 8

FALLAS (51)



ESTEREOGRAMA N.º 9

FALLAS



Esfuerzos deducidos
(respecto al N. mag.)

1° N. 121° E.
2° N-S.
3° N. 68° E.

LEYENDA

- DEXTRORSAS
- × SINISTRORSAS
- INDIFERENCIADAS
- (Sd - FALLA) MICROFALLAS
- σ_T

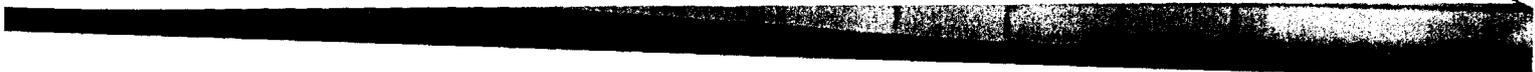
Las fallas de la corta de Fornás N60E pueden corresponder a fallas mixtas (dextrosas + inversas) originadas por el esfuerzo N114E, ya que se sitúan sobre el círculo menor correspondiente al mismo (ver diagrama 8 y 9). En favor de esta suposición está el hecho de que el límite SW de removilización está desplazado de acuerdo con un juego dextrorso (ver mapa de la corta), aparte de que existen estrías con un "rake" de unos 50°W en el borde N del filón S.

El esfuerzo N114E produce, sin embargo, de modo preferente desgarres sinistrorsos de dirección media N139E (respecto al N geográfico), que son los más patentes en el mapa estructural. Por su parte, el esfuerzo N61E origina desgarres dextrorsos de dirección aproximada N20E, como los que afectan a la mineralización (ver mapa de la corta). El esfuerzo N7W origina algunas microfallas inversas de dirección aproximada E-W y algunos desgarres sinistrorsos de dirección N20E.

El pequeño número de fallas vistas no permite hacer más precisiones, e incluso las conclusiones anteriores serían objetables si no fuera porque las diaclasas constituyen un buen aval que confirma estas deducciones.

Seguidamente se tratará de establecer la sucesión cronológica relativa de los distintos grupos de fallas. Para ello, se conjuntarán datos del mapa de la corta de Fornás - con otras observaciones en diversos puntos del área investigada.

El esfuerzo más antiguo parece ser el de dirección



N114E y el más moderno el N61E, por las siguientes razones, que a continuación se expresan:

1ª.- Existen removilizaciones tardías (ligadas a anatexia) - que aunque irregulares, tienen cierta tendencia a dar zonas alargadas según direcciones que coinciden con los desgarres sinistrorsos N139E. Podría pensarse que estas removilizaciones son favorecidas por una fracturación precoz de esa dirección, originada simultáneamente a - los pliegues poco apretados de las fases 5 y 6, para cuya génesis se ha deducido independientemente un esfuerzo compresivo de dirección variable entre E-W y N140E. Se podría tratar en efecto, de zonas de debilidad relativamente antiguas, pero es evidente (por las paragénesis tardías ligadas a fracturas - ver resumen petrogenético, - por relaciones geométricas entre fracturas y roca con removilización más o menos paralelas a las mismas) que se trata de dos procesos (removilización y fracturación) separados netamente en el tiempo, aún cuando sean convergentes en el espacio. De todos modos, si es que - existen tales zonas de debilidad precoces, podrían aprovecharse nuevamente durante los procesos de fracturación.

2ª.- Los desgarres sinistrorsos N139E y las mineralizaciones, que, como veremos más adelante, van ligadas a ellos parecen estar desplazadas en algunos puntos (ver mapa de anomalías geoquímicas); más concretamente en la corta - de Fornás las fallas mixtas de dirección N60E y buzamiento entre 43°N y 56°N, muy probablemente originadas, como ya se ha mencionado, por el esfuerzo N114E, están cortadas por fallas dextrorsas de dirección N10E a N30E, pro

ducidas por el esfuerzo N61E.

3ª.- Como se explicará más adelante, las mineralizaciones si guen preferentemente los desgarres sinistrorsos de di- rección N139E y las diaclasas de tensión asociadas, úni- cas fracturas existentes en el momento de la formación de los posibles yacimientos. Estas mineralizaciones se- rán más tarde afectadas y, en parte, removilizadas por fallas debidas a las otras situaciones de esfuerzos. Así se explicaría el que no hubiesen anomalías geoquí- micas importantes alineadas en direcciones distintas a N139E.

4ª.- La dispersión en los esfuerzos deducidos para las fallas 3, 6, 10, 11, 13 y 14 (diagrama 9), para las que se ha dado una dirección media del esfuerzo compresivo de N61E, puede explicarse sencillamente porque muchas de ellas corresponden a fracturas que ya existían en - virtud de los esfuerzos anteriores y posteriormente han sido rejuvenecidas. Así por ejemplo, las fallas 13 y 14 (ver diagrama 8 y 9), que son desgarres aproximadamente N-S dextrorsos, tal como se muestran en el croquis de - la corta de Fornás, pudieron originarse ya durante el esfuerzo N-S como fracturas (diaclasas) tensionales. En consecuencia al actuar el esfuerzo N61E, en lugar de -- crearse desgarres dextrorsos con una dirección teórica de N31E, se aprovecharán ciertos planos de debilidad ya existentes y más o menos próximos a esta dirección. En resumen, la mayor dispersión observada para la distribución de las fracturas correspondientes al esfuerzo N61E aboga en favor de que éste ha sido el que ha actua do más recientemente.

Se puede pues concluir, aún cuando las razones - antes expuestas, consideradas por separado, son de muy distinto valor, que durante los procesos de fracturación:

- 1º. Se han originado simultáneamente fallas y diaclasas, bajo cada uno de los distintos estados de esfuerzos a que se han visto sometidas las metabasitas.
- 2º. La sucesión cronológica relativa de los esfuerzos compresivos máximos responsables de la fracturación ha sido la siguiente: a) esfuerzo N180E a N114E b) esfuerzo N7W; c) esfuerzo N61E a N66E. Esto implica que las fracturas más antiguas son las de dirección N133E a N139E, que son precisamente las mejor representadas en cartografía (al menos en cuanto a fallas se refiere).
- 3º. La fracturación es un fenómeno tardío, respecto al plegamiento, que ocurre cuando las rocas son frágiles. El resultado es una tectonización más o menos intensa, que puede llegar a dar milonitas. Los minerales asociados al proceso de fracturación se reflejan en el cuadro correspondiente al resumen petrogenético (capítulo de petrología).

6.2.2.- Interpretación del mapa estructural

A la luz de todo lo que antecede se ha interpretado el mapa estructural tal como aparece en el mapa correspondiente.

- 1º.- En primer lugar, los límites entre dominios A y R han

sido interpretados en base a dos hechos totalmente distintos, de acuerdo con la orientación de tales límites:

- A) Límite de dominios ligados a fallas. El límite de dominios de dirección N140E que pasa al W, SW y S de la corta de Fornás se ha considerado como desgarre sinistrorso por - varias razones: a) se trata de una línea paralela a la - traza de los desgarres sinistrorsos, tan numerosos en el área, y, en especial, en la cercanía de este límite; b) no se han localizado, ni en la proximidad de dicho límite ni en toda el área estudiada, pliegues menores que puedan servir de base para interpretar el paso de dominios como la traza de la superficie axial de un gran pliegue de envergadura cartográfica; c) las direcciones axiales y las trazas de las superficies axiales de los micropliegues observados no coinciden en ningún caso con la dirección N140E.

Por las mismas razones, el dominio A, situado al N de la corta se ha limitado por fallas, dos de ellas paralelas y de dirección N130E (desgarres sinistrorsos) y otra transversal, subparalela a las observadas en los alrededores de la explotación de Fornás y consideradas como inversas + dextrorsas. También el dominio R de la esquina SW del mpa está parcialmente delimitado por fallas N140E-N150E, en función de las múltiples fallas con tal dirección observadas en los alrededores.

Todas las fallas consideradas como límites de dominios se han originado en el esfuerzo compresivo más antiguo, de dirección N108E-N114E.

B) Límites de dominios ligados a pliegues cartográficos. Como trazas de superficies axiales de pliegues cartográficos se han considerado los límites de dominios A y R en los que se han medido pliegues menores postesquistosos en los que las direcciones axiales y las trazas de las superficies axiales son congruentes con tales límites. También se ha tenido en cuenta la falta en dichos puntos de fallas convenientemente orientadas o de otras estructuras ligadas a tectonización.

Dentro de esta categoría se halla la mayor parte de los límites de dominios A y R situados en la esquina SW de la cartografía en la que se ha interpolando las trazas de S_4 en función de medidas locales de ésta y de los pliegues cartográficos son congruentes con los pliegues menores post-esquistosos de dirección axial N50E a N60E.

En el área estudiada no se observan límites de dominios en relación con los otros pliegues post-esquistosos que se han descrito previamente.

2º.- Otras estructuras del área que no delimitan dominios estructurales. Entre estas cabe citar las fallas y, en especial, las de dirección aproximada N130E a N140E (respecto al N geográfico), que son las más patentes en cartografía. Se han extrapolado las trazas de las fallas en función de las observaciones más o menos puntuales y teniendo presentes los indicios de sulfuros (ver superponibles litológicos y de indicios), así como el mapa geofísico.

El utilizar la presencia de los sulfuros como indicador de la presencia de fallas se basa en que las fallas en general, están mineralizadas y en que en el estudio petrológico de las láminas siempre se han visto las mineralizaciones de sulfuros en relación con fracturas.

6.2.3.- Relación entre la mineralización y la estructura de las rocas encajantes.

Para llegar a las conclusiones que aquí se establecen es evidente que se ha tenido que ir paso a paso en el estudio estructural de la zona. De otro modo, muchos de los resultados obtenidos no se habrían alcanzado, mediante la simple inspección de la mina y proximidades, aún cuando se hubiese hecho un estudio petrológico relativamente profundo.

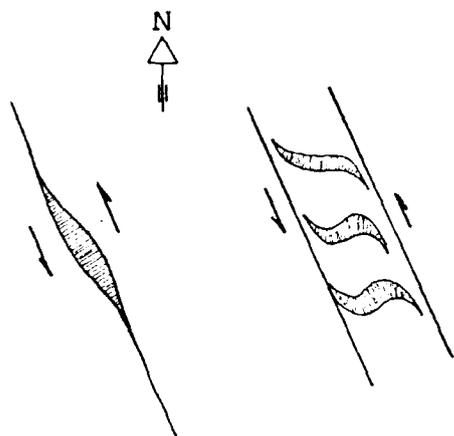
A la luz de los datos ya expuestos y teniendo presentes los del estudio de láminas delgadas resulta claro que la mineralización rellena fracturas, en especial los desgarres sinistrorsos de dirección N140E.

Ninguna de las estructuras sinesquistosas ni ninguno de los pliegues postesquistosos afectan a la mineralización. Ni tan siquiera el "close jointing", última de las estructuras penetrativas observada, está relacionado con ella. Por supuesto la mineralización no sigue la S_4 o S principal, cosa evidente en los dominios A, en los que es claramente transversa a ella y sigue los desgarres cartografiados.

Por otra parte, las removilizaciones tardías que causan un aumento del tamaño de grano de las metabasitas, co.

mo ya se ha comentado en el apartado referente a las fracturas, a veces parecen coincidir con los desgarramientos de dirección N140E. Sin embargo, hay que insistir que, de acuerdo con el estudio petrológico, se trata de procesos distintos y separados en el tiempo, que pueden coincidir en el espacio en virtud de la existencia probable de líneas de debilidad precoces de dirección semejante a la de los desgarramientos posteriores.

Las mineralizaciones más importantes tapizan principalmente las fracturas de dirección N140E, que se muestran actualmente como desgarramientos sinistrorsos y que probablemente serían las únicas fracturas existentes en el momento de originarse los yacimientos de sulfuros. El relleno se ha podido efectuar bajo la acción del esfuerzo N105E-N114E, aprovechando huecos virtuales creados en virtud de la irregularidad de las superficies de falla o en virtud de la formación de diaclasas tensionales ("gash joints") ligadas a los desgarramientos



Croquis en planta Fig.-5

(ver fig. 5). El caso de Fornás parece obedecer a este último supuesto, ya que la mineralización se presenta en dirección aproximada E-W y se acuña lateralmente de modo que sus extremos están doblados congruentemente con el régimen sinistrorso de los desgarramientos. Al mismo tiempo que se producen estos rellenos, la roca de caja es mineralizada a corta distancia de las fracturas por sulfuros dispersos, pero que se muestran igualmente como intersticiales y tardíos en las láminas delgadas

intersticiales y tardíos en las láminas delgadas

Las fracturas posteriores, originadas por los esfuerzos N7W y N61E-N66E, parecen haber producido exclusivamente ligeras removilizaciones y algunos desplazamientos en los yacimientos que ya existían previamente.

Conviene insistir en el carácter tardío de la mineralización, que ha sido corroborado por el estudio petrológico. La única mena opaca, observada con el microscopio, que ha sido afectada por las distintas deformaciones sinesquistosas, no corresponde a sulfuros, sino a minerales de titanio opacos (posiblemente ilmenita). Así pues, la mineralización que nos ocupa no parece relacionarse en absoluto con un primitivo yacimiento originado por diferenciación magmática en las rocas básicas, que después se transformarían en las metabasitas actualmente observables.

6.2.4.- Estudio petrológico

Para establecer con mayor seguridad la génesis de las metabasitas del área estudiada y la de los yacimientos de sulfuros que en ellas se encuentran, se ha efectuado el estudio petrológico de una serie de muestras, tomadas en diversos puntos de la misma. Con idéntica denominación que las estaciones a que corresponden su estudio se detalla en el anexo nº 1.

6.2.4.1.- Resultados a partir de las láminas de metabasitas

Los resultados correspondientes se resumen en el cuadro de la página siguiente:

Tal como se acaba de puntualizar en el apartado anterior, los sulfuros son tardíos y corresponden a la fase tardía de fracturación. Pueden aparecer más o menos dispersos en zonas tectonizadas o localizados en fracturas junto a cuarzo + albita ± epidota + óxidos de hierro. No se han observado sulfuros en las fases anteriores a la fracturación.

Antes de continuar, hay que advertir que, salvo algunas coincidencias respecto a la existencia de un metamorfismo antiguo de facies granulita seguido por diversas fases de grado medio (retrometamorfismo), existen bastantes divergencias, en cuanto a conclusiones petrológicas y estructurales, entre este trabajo y el realizado por A. Van ZUUREN (1969). De todos modos, estamos de acuerdo con este autor en que la diferencia entre la primera fase metamórfica detectada y las siguientes debe relacionarse con un cambio radical de las condiciones termodinámicas en función de la profundidad en la corteza en la que se producen las transformaciones metamórficas.

6.2.4.2.- Resultados a partir de las láminas de la mineralización de Fornás.

A partir de estas láminas se ha podido establecer la siguiente secuencia de cristalización (3):

- 1º. Estauroлита + gedrita aluminica.
- 2º. Pargasita + hidrobiotita.
- 3º. Hercinita o espinela s.str. + plagioclasa --
(An₂₁ - An₂₄ - An₂₇ - An₃₃). La plagioclasa exhibe ligera zonación inversa. La hercinita impli

ca un medio pobre en sílice en el que puede generarse por descomposición de la estaurolita.

- 4º. Mineralización de sulfuros + clorita + cuarzo, en la que se distinguen dos subfases : 1ª pirrotina mayoritaria + clorita; y 2ª calcopirita mayoritaria + clorita. Ambas subfases están separadas por una etapa de microplegado y brechificación. El cuarzo debe situarse, en conexión con los sulfuros, como un mineral tardío ya que su cristalización sería incompatible con la formación simultánea de espinela s.l.; ello explicaría además las simplectitas desarrolladas sobre espinelas al ser corroídos éstas por el cuarzo.

Tanto la hidrobiotita como la clorita y la estaurorolita se han comprobado mediante difracción de rayos X, por su gran importancia para la interpretación del yacimiento.

La hidrobiotita pasa gradualmente a clorita hacia el límite N del filón actualmente en explotación.

Salvo las espinelas, la plagioclasa y el cuarzo los demás minerales de la ganga indican que la mineralización se ha efectuado en un medio no precisamente anhidro, hecho que, como se verá más adelante, tiene su importancia en los procesos de mineralización y/o de colocación de la masa mineralizada.

La presencia de minerales, como la estaurorolita y

las espinelas, implica un alto contenido de alumina en la ganga, lo cual ya establece una seria dificultad a la hora de intentar asignarle un origen directamente ligado a rocas básicas o metabásicas.

De acuerdo con diversos autores, como G. HOSCHEK (1969), J. GANGULY (1972), y H.G.F. WINKLER (1974, 3ª Ed.), si bien la estaurolita es característica del metamorfismo de grado medio, el límite superior de desaparición de la misma puede exceder fácilmente los 700° C a una presión de unos 5,5 Kbars. aún en presencia de cuarzo y moscovita; si faltan estos minerales, el campo de estabilidad de dicho mineral puede exceder los 800°C.

En el yacimiento de Fornás, la estaurolita y la gedrita, - si bien pudieron generarse, al menos en parte, - durante el metamorfismo de grado medio a partir y en el seno de pelitas (quizá con intercalaciones de rocas ígneas), - debieron resistir la elevación térmica tardía, señalada por A. Van ZUUREN (1969), la cual conduce a la anatexia de los metasedimentos de los Complejos de Santiago y de Ordenes. Esta fase anatéctica es equiparable a la etapa metamórfica post-F₄-S₄ detectada en el área investigada. La posterior cristalización de plagioclasa en ligera zonación inversa de las plagioclasas de las segregaciones leucócratas tardías - en las metabasitas, es un hecho que apoya la idea de que en la génesis de la ganga es de particular importancia la fase de removilizaciones anatécticas, que se ha de encuadrar en el marco regional del metamorfismo de grado alto o del magmatismo tardío asociado.

La mena, sin embargo, es tardía e intersticial y paragenética de la clorita y el cuarzo (en sentido lato). Es to parece indicar que la cristalización de los sulfuros debió ocurrir en condiciones de metamorfismo de grado bajo o como producto de procesos hidrotermales o pneumatolíticos más o menos ligados al metamorfismo regional en su fase más tardía.

Se abre paso, pues, la hipótesis de que la mineralización está ligada a las removilizaciones anatéticas tardías, aunque durante fases anteriores se generaría buena parte de los minerales de la ganga en el seno de metapelitas. La ganga, junto con los sulfuros que también se encontraban en las metapelitas, podría haber migrado a zonas de debilidad precoces (charnelas de pliegues postesquistosos, zonas de fracturación, ... originados durante la fase anatética), para ocupar un lugar que no sería aún el definitivo. En estos lugares previos debieron formarse concentraciones relativas de sulfuros y ganga aluminica, en las que existiría una importante fase fluida. La cristalización de anfíboles e hidrobiotita en macrocristales relativamente orientados sugiere un medio de relativa tranquilidad pero caracterizado por anisotropías geométricas (fallas, charnelas de pliegues, y, en general, zonas de debilidad precoces) o bien por anisotropías creadas por campos de esfuerzos en los que la compresión máxima actúa según direcciones E-W a N140E (en el momento de la formación en las metabasitas de pliegues laxos disarmónicos). La buena cristalización de los minerales de la ganga previos a los sulfuros sugiere asimismo un enfriamiento lento en lugares de cierta profundidad, que no tenían por que estar situadas en el seno de las metabasitas.

Al mismo tiempo en éstas se originan removilizaciones tardías post-F₄-S₄ (no necesariamente mineralizadas), también según zonas probablemente de debilidad. Posteriormente, algunas de estas zonas removilizadas pudieron ser afectadas por desgarres sinistrorsos N140E, que eventualmente pueden coincidir con el alargamiento máximo de tales zonas.

Entre las removilizaciones en las metabasitas y estas fallas N140E, más o menos mineralizadas, existiría una convergencia indirecta en cuanto a su origen, lo que explicaría la ocasional convergencia espacial (aunque no temporal).

Esta convergencia no es siempre necesaria, de modo que puede haber removilizaciones en las metabasitas que no están mineralizadas, zonas removilizadas coincidentes con desgarres sinistrorsos, mineralizadas o no, y zonas de metabasitas no removilizadas con yacimientos importantes en zonas afectadas por los desgarres N140E (ver mapas litológicos y de indicios, y fig 6).

La condición más necesaria es que existan desgarres sinistrorsos de dirección aproximada N140E que en profun

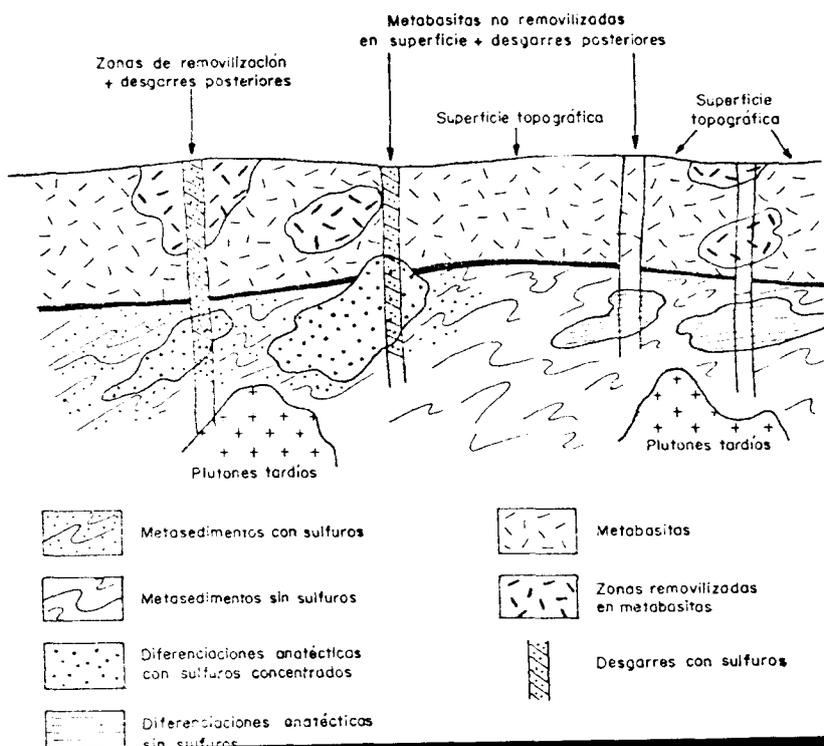


Fig. - 6

didad hayan afectado a zonas removilizadas de metapelitas - con sulfuros, los cuales en este momento penetran (bajo la actuación del esfuerzo N180E - N114E y quizá en función de la alta presión de fluidos intersticiales) en los huecos virtuales que estos accidentes proporcionan. El relleno se efectuaría ya en condiciones metamórficas de grado bajo o en condiciones hidrotermales (o quizá pneumatolíticas) relacionadas con procesos metamórficos tardíos. Los fluidos mineralizantes, o quizá el sulfuro a modo de masa plástica, arrastrarían a los minerales de la ganga formadas a mayor profundidad en condiciones de presión y temperatura más elevadas.

Las deformaciones en la zona mineralizada de Forrás se reducen a: pliegues centimétricos disarmónicos y -- "Kink bands" milimétricos que afectan a la pirrotina, a la hidrobiotita y a la clorita (la pirrotina actúa como nivel de despegue en las disarmonías); y una tectonización de los minerales de la ganga y de la pirrotina que origina brechas cementadas esencialmente por calcopirita y clorita de nueva generación.

Estas estructuras están indudablemente relacionadas con movimientos relativos a lo largo de las fracturas ya mineralizadas. Aunque los pliegues disarmónicos tienen lugar en virtud de la plasticidad de los sulfuros, la brechificación y los "Kink bands" son prueba de un comportamiento frágil del material (al menos en parte), que sólo puede explicarse por la actuación de las fallas mineralizadas.

En el estudio de las láminas de la mineralización se ha puesto de manifiesto que ni la secuencia de deformaciones ni la mineralogía se corresponden con las observadas en

las rocas de caja. Tampoco se puede compaginar el alto contenido en (alúmina) de la ganga de la mineralización con la composición de las metabasitas.

En resumen, todo lo que antecede lleva a la conclusión de que la mineralización y su ganga proceden de una diferenciación en rocas distintas a las metabasitas, probablemente en una serie vulcano-sedimentaria (pelitas con intercalaciones de rocas ígneas) en la que ya existiría un "protoyacimientó" de sulfuros. Las metapelitas, que habían de tener una composición muy aluminica, compatible con la formación de estaurolita, se encontrarían en posición infrayacente respecto a las metabasitas en el momento de la anataxia y de las removilizaciones post-F₄-S₄ y podrían corresponder al Complejo de Santiago o, incluso, al propio Complejo de Ordenes.

Durante la fase anatéctica se producirían concentraciones importantes de sulfuros, con proporciones variables de estaurolita, gedrita aluminica, hidrobiotita, pargasita, espinela s.l. y plagioclasa.

Finalmente, durante la etapa de fracturación y, en especial, la debida al esfuerzo compresivo N108E - N114E, los sulfuros vuelven a removilizarse en condiciones metamórficas de grado bajo para alcanzar su posición actualmente observable en las metabasitas, en virtud de procesos hidrotermales o pneumatolíticos, o bien por inyección forzada de material plástico. En todos estos posibles procesos la presión de fluidos ha jugado un papel importante.

Si se pretendiese localizar el primer "protoyacimamiento" de sulfuros o el originado subsecuentemente en la etapa anatéctica, habría que buscarlos, de acuerdo con la hipótesis expuesta, fuera de las metabasitas, probablemente en los metasedimentos infrayacentes, ya que la actual situación de los sulfuros en las metabasitas obedece a la existencia de desgarres sinistrorsos de dirección aproximada N140E.

6.3.- RECAPITULACION Y CONCLUSIONES

En este capítulo se resumen los resultados más importantes obtenidos en la investigación llevada a cabo y se establecen los controles petrológicos y estructurales que deben seguirse en ulteriores campañas de prospección.

6.3.1.- Conclusiones estructurales y petrológicas

- 1ª. Se han puesto de manifiesto en las metabasitas cuatro fases de deformación con desarrollo de sendas esquistosidades de flujo, seguidas de otras tres fases de pliegues suaves postesquistosos (la última de estas con desarrollo de "close jointing"). Tras estas deformaciones tienen lugar los procesos de fracturación.
- 2ª. Durante la primera fase de deformación sinesquistosa se produce un metamorfismo sincinemático de facies granulita, con transformación de las rocas básicas originales en granulitas básicas.
- 3ª. El metamorfismo posterior es retrógado y transforma las antiguas granulitas en anfibolitas.

- 4^a. Tras la última fase de deformación sinescuistosa (F_4-S_4), se produce una elevación sustancial de la temperatura - que origina segregaciones leucocratas tardías en las metabasitas, las cuales, más o menos simultáneamente se - pliegan dando pliegues laxos disarmónicos.
- 5^a. Posteriormente se producen pliegues con desarrollo de - "close jointing", que indica ya un comportamiento frá- gil de las metabasitas.
- 6^a. Finalmente la evolución tectónica acaba con la etapa de fracturación, la cual produce simultáneamente diaclasas y fallas, de las cuales las más importantes y mejor re- presentadas son los desgarres sinistrorsos de dirección aproximada N140E.
- 7^a. Las zonas cartográficas de metabasitas con granate y pi- roxeno son muy irregulares y no obedecen a ningún patrón estructural o composicional.
- 8^a. El límite de las zonas de metabasitas con segregaciones leucocratas tardías es también relativamente irregular, si bien presenta una ligera tendencia a orientarse según direcciones N140E, en coincidencia con los desgarres si- nistrorsos mencionados en la conclusión 6^a.
- 9^a. El límite de las zonas de metabasitas con "ojos" de fel- despato no obedece a ningún patrón litológico o estruc- tural, pues tales feldespatos se generaron entre las fa- ses de deformación sinescuistosas F_2 y F_3 , y durante F_2 , constituyendo bandas o venas relacionadas con segregacio- nes leucocratas antiguas.

- 10^a. En el área estudiada se pueden diferenciar dominios estructurales R, en que la S₄ o S principal presenta una dirección regional, y dominios A, en los que dicha superficie presenta dirección anómala.
- 11^a. Los límites entre dominios estructurales están relacionados: a) con desgarres sinistrorsos de dirección N130E N140E y, ocasionalmente, fallas de otra orientación, - también originadas por el mismo esfuerzo máximo compresivo N108E-N114E; y b) con pliegues cartográficos congruentes con los pliegues menores postesquistosos de dirección axial N50E a N60E.

6.3.2.- Conclusiones relativas a la mineralización de sulfuros.

- 1^a. Ninguna de las estructuras sinesquistosas ni ninguno de los pliegues postesquistosos afecta a la mineralización actual. Ni la secuencia de fases de deformación ni la mineralogía de las metabasitas se corresponden con las observadas en la mineralización.
- 2^a. Los sulfuros rellenan y tapizan fracturas, en especial los desgarres sinistrorsos de dirección aproximada N140E y diaclasas asociadas a ellos que debían ser la únicas fracturas existentes en el momento de la mineralización. En las proximidades de las fracturas se produce una mineralización dispersa claramente tardía.
- 3^a. El relleno de estas fracturas parece haber aprovechado huecos virtuales proporcionados por la irregularidad de las superficies de falla o por el desarrollo de diaclasas

tensionales ("gash joints") ligadas a los desgarres. Esta última posibilidad parece explicar bien la geometría de la mineralización en la corta de Fornás.

- 4^a. Las fallas posteriores, ligadas a los esfuerzos N7W y -N61E-N66E, parecen haber producido exclusivamente removilizaciones y algunos desplazamientos en los yacimientos ya existentes.
- 5^a. Los sulfuros, junto a la clorita, constituyen la paragénesis más tardía observada en la corta de Fornás. La ganga (salvo la clorita) es anterior a los sulfuros y, de éstos, la pirrotina precede generalmente en su cristalización a la calcopirita.
- 6^a. La ganga es de composición muy aluminica y está constituida por estaurolita, gedrita aluminica, pargasita, hidrobiotita, hercinita o espinela s.str., plagioclasa (oligoclasa andesina sódica), clorita y algún cuarzo.
- 7^a. Los cuatro primeros minerales citados forman cristales idio- o hipidiomorfos mientras que las espinelas y la plagioclasa forman cristales xenomorfos e intersticiales. Todos estos minerales pudieron originarse en el seno de metapelitas con probables intercalaciones de roca ígneas, en relación con el metamorfismo de grado medio y la fase anatéctica post-F₄-S₄, la cual produce migmatizaciones en los Complejos de Ordenes y de Santiago. Las espinelas y las plagioclasas, de cristalización más tardía, parecen corresponderse en el tiempo con la formación de venas leucocratas en las metabasitas. La buena cristalización de los minerales de la ganga, previos a los sulfu-

ros, sugiere un enfriamiento lento en lugares de relativa tranquilidad (que no tenían por qué estar situados - en el seno de las metabasitas).

- 8^a. La mena es, tardía e intersticial, de modo que la mineralización actual debió darse en condiciones metamórficas de grado bajo o como producto de procesos hidrotermales o pneumatolíticos ligados al metamorfismo regional - en su fase más tardía.
- 9^a. A veces existe coincidencia espacial de las zonas de falla mineralizada y algunas removilizaciones en metabasitas. Esta coincidencia ocasional se debería a una convergencia genética indirecta entre removilizaciones según zonas de debilidad y desgarres sinistrorsos ulteriores. Esta convergencia espacial no es necesaria de modo que puede haber removilizaciones en las metabasitas que no están mineralizadas y desgarres sinistrorsos mineralizados en zonas en que las metabasitas no están removilizadas.
- 10^a. La condición más necesaria para que haya mineralización en las metabasitas es que existan desgarres sinistrorsos N130E a N140E que en profundidad hayan afectado a zonas removilizadas de metapelitas con sulfuros, los cuales - en este momento penetran (bajo la actuación del esfuerzo N108-N114E y quizás en función de la alta presión de fluidos intersticiales) en los huecos virtuales que estos accidentes proporcionan. Los fluidos mineralizantes, o quizá el sulfuro a modo de masa plástica, arrastrarían a los minerales de la ganga, formados a mayor profundidad en condiciones de presión y temperatura más elevadas.

- 11^a. Las deformaciones en la zona mineralizada de Fornás se reducen a pliegues centimétricos y "Kink bands" milimétricos que afectan a la ganga y a los sulfuros (esencialmente a la pirrotina), y a una tectonización que produce brechas cementadas esencialmente por calcopirita. Estas estructuras se relacionan indudablemente con movimientos relativos a los largo de los desgarres sinistrorsos N130E-N140E y de otras fracturas asociadas a ellos. Los "Kink bands" y la brechificación son prueba de un comportamiento tardío, relativamente frágil, del material implicado en la mineralización.
- 12^a. En cuanto a la génesis de los yacimientos de sulfuros, dada la incompatibilidad existente entre las condiciones de formación de la mena y de su caja, parece obligado admitir que:
- a) la mineralización debió estar conectada con las removilizaciones anatéticas tardías, aunque durante las fases anteriores a la que produce los actuales yacimientos. En dichas fases se generarían buena parte de los minerales de la ganga en el seno de pelitas y sus intercalaciones ígneas. Junto a los sulfuros, estos minerales pudieron migrar y concentrarse aprovechando zonas de debilidad precoces, durante la fase anatética, la relativa orientación de anfíboles e hidrobiotita indica que este proceso debió ocurrir en un medio relativamente profundo y tranquilo caracterizado, sin embargo, por una anisotropía geométrica (zonas de debilidad o fallas precoces) o bien por una anisotropía impuesta por los esfuerzos E-W a N140E, contemporáneos de los pliegues laxos disarmónicos. Al

mismo tiempo, en las metabasitas se producirían asimismo segregaciones y removilizaciones de minerales leucocratos, no necesariamente mineralizadas (a no ser en la vecindad de los metasedimentos migmatizados que contuviesen previamente sulfuros), y los pliegues laxos de fases 5 y 6 ya mencionados.

b) Posteriormente se producen desgarres sinistrorsos de dirección aproximada N140E que ofrecen la posibilidad de ser mineralizados por los sulfuros en virtud de una nueva removilización.

13^a. El "protoyacimiento" de sulfuros hay que suponerlo en rocas distintas a las metabasitas, probablemente metapelitas aluminicas con intercalaciones de roca ígneas (serie vulcano-sedimentaria con sulfuros) en posición infrayacente respecto a las metabasitas durante el momento de la anatexia y de las removilizaciones post-F₄-S₄. Durante el desarrollo de estos fenómenos se generarían concentraciones importantes de sulfuros en distintos puntos de las metapelitas, que incluso pudieron alcanzar ya la masa de metabasitas.

6.3.3.- Controles petrológicos y estructurales de la mineralización de sulfuros.

Se pueden extraer de las conclusiones antes ex--

puestas. Resumidamente se pueden enumerar del modo siguiente:

- 1º. La existencia de desgarres sinistrorsos de dirección aproximada N140E es del máximo interés en la prospección de sulfuros. Son igualmente muy interesantes las diaclasas tensionales ligadas a los mismos (caso de Fornás). La presencia de tales desgarres puede ponerse de manifiesto por métodos estructurales (definición de dominios estructurales, zonas milonitizadas más o menos cloritizadas o epidotizadas, etc...) o por métodos cartográficos indirectos, como la presencia en superficie de indicios de sulfuros diseminados o concentrados en pequeñas fracturas, que se alinean según direcciones aproximadas N140E.
- 2º. La existencia de removilizaciones de las metabasitas alineadas según esta última dirección no es definitiva para la prospección. Sólo pueden presentar interés si estas zonas removilizadas coinciden con los desgarres sinistrorsos mencionados, pero, de todos modos, pueden existir yacimientos en metabasitas no conectados con tales removilizaciones.
- 3º. No existen en el seno de las metabasitas controles estructurales ligados a las esquistosidades ni a los pliegues postesquistosos, ya que la mineralización es muy tardía.
- 4º. No existen tampoco controles petrológicos en función de la presencia o falta de minerales, como piroxenos y granates, o de "ojos" de feldespatos, excepto la estrecha relación entre la alumina y las mineralizaciones.

6.4.- ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECTROGRAFICOS DIFRACTOMETRICOS METALOGENICOS.

Todos estos estudios han sido realizados sobre 10 muestras tomadas en la corta de Fornás a lo largo de dos - perfiles irregulares pretendidamente paralelos, aprovechando los taludes de los bancos de la corta.

Los perfiles se realizarón perpendiculares al cuerpo mineralizado procurando coger por lo menos una muestra en - cada variedad de roca o de mineralización interserctados, - más que a intervalos constantes, al objeto de conseguir la máxima información con el mínimo de muestras.

En cada punto de muestreo se tomó una muestra por - el sistema de roza para su eventual análisis químico, espec trográfico, y difractométrico, y dos muestras de mano, una para petrografia (estudiada en el apartado anterior) y otra para metalogenia si existia metalización visible, las cua les llevan en cada punto de muestreo la misma numeración que las recogidas por roza en el mismo punto.

La ubicación de cada muestra viene dada en el plano nº 5 del anexo correspondiente.

6.4.1.- Estudio por Fluorescencia de Rayos X

Todas las muestras (10) fueron analizadas por estas técnicas espectrográfica (2 de mena masiva, 2 de disemina ción en los hastiales, y 6 de metabasitas circundantes). A continuación indicamos de forma resumida las principales -

conclusiones que se desprenden de los resultados que se incluyen en el anexo nº 3 partiendo de la clasificación de los elementos pesados de las muestras en: principales, secundarios, y accesorios.

- a) Hierro y titanio son los únicos elementos pesados principales, y además aparecen ambos como tales en todas las muestras con roca de caja (estéril o mena no masiva).

El alto contenido de titanio corrobora las conclusiones petrográficas en el sentido de la génesis ortomagmática de las metabasitas.

- b) En las muestras de mena masiva (pirrotina masiva, con calcopirita y pirita) el titanio pasa a ser elemento secundario junto al cobre y en ocasiones junto a cobalto y zinc.

La concentración ligeramente anómala de zinc y cobalto viene corroborada en la geoquímica de drenajes efectuada en la presente campaña donde se nota este mismo hecho.

- c) El zinc acompaña al cobre como elemento secundario en las diseminaciones laterales del cuerpo masivo en la roca de caja (metabasita).

- d) El manganeso es elemento secundario presente en todas las muestras excepto en una de mena masiva.

- e) Resulta interesante destacar que el plomo no aparece en ninguna muestra ni en calidad de indicio.

6.4.2.- Estudio por difracción de rayos X

Cuatro muestras de cada perfil fueron estudiadas - por difracción (2 de mena masiva, 2 de diseminación en los hastiales, y 4 de metabasitas). Las conclusiones principales de los resultados que figuran en el anexo nº 4 se resumen como sigue, tras clasificar los minerales como principales, secundarios, y accesorios:

- a) La asociación pirrotina - calcopirita - pirita queda perfectamente determinada en las muestras de sulfuros masivos.
- b) La blenda aparece (como accesorio) en una de las dos -- muestras analizadas de diseminaciones en los hastiales. Además aparece blenda en una de las muestras de metabasita considerada previamente como no metalizada. Como - sea que el análisis espectrográfico de la misma muestra no detecta zinc ni como accesorio, consideramos que esta muestra ha recibido un tratamiento previo incorrecto.
- c) El mineral no metálico catalogado como principal en todas las muestras es, excepto en las de sulfuros masivos, anfíbol sólo, o anfíbol y clorita.
- d) La Ilmenita aparece como mineral secundario en tres de las cuatro muestras de roca de caja poco o nada mineralizadas.

- e) El cuarzo se halla presente en todas las muestras de mena o de roca de caja, en mayor o menor proporción, excepto en una de las muestras estériles de metabasita.

- f) El feldespató no aparece en los resultados difractométricos de la muestra 11526 a pesar de que esta muestra corresponde a una roca de anfibolita leucocrota normal cuyo estudio petrográfico denota un contenido normal de plagioclasa. En muestra opinión ello tiene que ser debido a un tratamiento incorrecto de la muestra.

6.4.3.- Estudio metalogénico

Del total de 10 muestras recogidas en los perfiles de la corta de Fornás 5 de ellas han sido estudiadas en sección pulida (2 de sulfuros masivos, 2 de diseminaciones en los hastiales, y una de anfibolita con indicios de sulfuros). Los resultados que figuran en el anexo nº 5 pueden resumirse como sigue tras clasificar los minerales por su abundancia como principales y accesorios:

- a) Los minerales opacos principales en las cuatro muestras bien mineralizadas son: pirrotina muy abundante, con cantidades importantes de calcopirita.

- b) La pirita acompaña como mineral principal a la pirrotina y calcopirita en una de las muestras de sulfuros diseminados en los hastiales de los sulfuros masivos.

- c) Blenda e ilmenita se hallan presentes en todas las muestras como accesorios, ocasionalmente acompañadas de pirita.

- d) La ilmenita se presenta generalmente asociada a los minerales silicatados tanto en las mineralizaciones diseminadas como en las de sulfuros masivos. La blenda aparece asociada principalmente a la calcopirita.
- e) No se observan en ninguna muestra segregaciones de sulfuros de níquel o cobalto, lo cual parece indicar que los valores de Ni y Co observados por análisis químico, y que se incrementan con la mineralización provienen de la red de la pirrotina, dado que además los valores de arsénico son despreciables.
- f) En una de las muestras de sulfuros diseminados (hastiales) se observan indicios de arsenopirita sustituyendo a la pirita.
- g) A la luz de los estudios realizados no existen argumentos decisivos que permitan dilucidar de forma conveniente el orden de deposición de los minerales, sin embargo la presencia de micropliegues angulares en la pirrotina exclusivamente, nos insinúan que el orden de deposición sería: pirrotina, calcopirita-blenda (que suelen aparecer asociados) y pirita, tardía (puesto que si fuera anterior a la pirrotina lo lógico sería que se hubiera transformado también en pirrotina).

6.4.4.- Análisis Químicos

En cada uno de los perfiles se ha analizado una muestra de sulfuro masivo, una de diseminación en los hastiales, y una de anfibolita prácticamente no mineralizada.

Considerando en principio que este yacimiento pudiera pertenecer al grupo de los criaderos de Ni - Cu tipo Sudbury las muestras fueron analizadas para: Cu - As - Ni - Co - Zn - Ag - Au - Pt - Pd - Ir.

Las conclusiones que pueden extraerse de los resultados que figuran en el anexo nº 6 son las siguientes:

- a) El contenido de cobre en las dos muestras de sulfuros masivos representa en una de las muestras un valor aproximadamente igual a la media del yacimiento (alrededor del 1%) mientras la otra representa un valor local alto (alrededor del 3%) pero normal.
- b) Los valores de níquel de las muestras bien mineralizadas están en el orden de magnitud de los valores de fondo - normales en rocas de composición basáltica.
- c) Zinc, cobalto y níquel aumentan en las muestras bien mineralizadas en relación con los contenidos de las anfibolitas estériles del entorno.

El zinc aumenta de forma importante alcanzando varios miles de partes por millón.

- d) El cobalto, a pesar de tener en la anfibolita estéril valores inferiores a los del níquel, aumenta en las zonas mineralizadas más acusadamente que este aunque sin superar el orden de uno o varios cientos de partes por millón. Tanto es así que siempre y sólo cuando la roca se halla bien mineralizada la relación Co/Ni se hace mayor que 1.

Esta tendencia a fluctuar con la mineralización de pirrotina-calcopirita se refleja perfectamente en la geoquímica de arroyos (vease en el capítulo 11.1.3).

- e) El grupo de platinoides analizados (Pt - Pd - Ir) no da ningún valor en ninguna de las seis muestras analizadas.
- f) Oro y plata aparecen en muy escasa cantidad en dos de las seis muestras (una de diseminación en los hastiales y - otras de anfibolita aparentemente estéril).
- g) Los contenidos de arsénico parecen tener una cierta tendencia a incrementarse en las zonas mineralizadas con pirrotina pero sus valores son siempre tan bajos (el valor más elevado es de 0,035 p.p.m.) que confirmarlo es difícil.
- h) Resulta notable la similitud de las conclusiones extraídas de los análisis químicos de Fornás y de Arinteiro - (ver 7.3.5).

**7· ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENICO
DEL CRIADERO DE ARINTEIRO**

7.- ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENICO DEL CRIADERO DE ARINTEIRO

7.1.- LOCALIZACION GEOLOGICA DEL AREA DE ARINTEIRO

El yacimiento de Arinteiro se localiza en flanco - E del cierre periclinal de eje N-S que dibujan las metabasitas del área de Arca, los cuales se hallan intercaladas en una potente serie de esquistos más o menos neísicos. Vease el mapa de la pag.8

7.2- CARTOGRAFIA GEOLOGICA (Vease el mapa nº 6)

Al contrario que en el área de Fornás, la estrechez del nivel de metabasitas (80-100 de espesor real) rodeado - de esquistos neísicos, facilita enormemente el trabajo de - cartografía geológica, y además confiere al mapa notable expresividad por el hecho de unos contactos geológicos altamente significativos que no existen en el caso del área de Fornás.

El estudio resulta pues fácil de abordar y de resolver y fué realizado en 1967-70 por RIO TINTO PATIÑO, S.A. empresa que explota los yacimientos de Arinteiro y de Fornás.

El mapa, que presentamos se realizó antes de empezar las labores de explotación, y como sea que los buzamientos son suaves, los contactos geológicos quedan actualmente bastante desplazados en la corta; sin embargo el mapa geológico que presentamos sigue siendo total y absolutamente válido en sentido fenomenológico, puesto que lo actualmente -

aflorante es justamente la continuación lógica de cuanto se representa en el mapa, y la mayor irregularidad la constituye precisamente el desplazamiento lateral de los contactos.

A continuación vamos a comentar los caracteres litológicos y estructurales más significativos que afectan a esta cartografía.

7.2.1.- Litología Macroscópica

A) Los Esquistos Neisicos

El cuerpo metabásico de Arinteiro es de carácter - típicamente lenticular y se halla rodeado por esquistos neisicos muy meteorizados superficialmente, y de los que destaca precisamente por una mayor resistencia a la meteorización. Tanto es así que en la corta actual apenas afloran esquistos no meteorizados.

Sistematicamente se ha dedicado escaso interés a esta formación esquistoso - neisica en los informes y estudios de tipo minero, puesto que el metalotecto del subtipo Arinteiro lo constituyen precisamente cierto tipo de metabasitas.

Estos esquistos neisicos se caracterizan texturalmente por una esquistosidad muy penetrativa desarrollada sobre una granulometría fina (de 1 mm o menos). Su color, muy oscuro cuando están inalterados, tiene un tinte violado que junto con su mayor esquistosamiento los distingue de las anfíbolitas de grano fino. En afloramiento meteorizado suelen

diferenciarse por un tinte marrón-rojizo, y por el brillo - de la abundante sericita que generalmente contienen.

B) Las Anfibolitas

El lentículo metabásita se caracteriza por una periferia de grano muy fino y un núcleo megacrystalino casi - pegmatoideo frecuentemente, cuyo contacto es en ocasiones - más o menos neta y en ocasiones transicional.

a) Las anfibolitas de grano fino

Como ya hemos dicho constituyen la aureola externa del cuerpo metabásico de Arinteiro y se caracterizan macroscópicamente por su carácter masivo (que sólo esporádicamente conserva relictos de bandeo metamórfico visualmente reconocible) y por una granulometría tan fina que generalmente apenas se distingue algún mineral. Su color, negro en las muestras inalteradas, va pasando a gris verdoso y finalmente a beige, con la meteorización.

b) Las Anfibolitas megacrystalinas (o granatíferas)

Es esta una formación no esquistosada tipificada fundamentalmente por el carácter megacrystalino de una buena parte de sus constituyentes, que presentan entre si una relación cuantitativa muy heterogénea, pero mantienen siempre un alto contenido de grandes granates esferoidales a idiomorfos que en algunas zonas representan cerca del 90% del total de la roca; pudiendo en ocasiones alcanzar tamaños de hasta 4 cm. - de diámetro. Conviene remarcar que lo característico de es-

ta roca no es la presencia de granate, común a muchas otras litologías básicas y ácidas de la zona, sino el carácter megacrystalino de estos granates y de buena parte de los otros minerales que componen esta formación. Es también de destacar el bajo contenido en plagioclasas, lo cual probablemente es consecuencia directa del incremento en granate.

Otros minerales importantes aunque de distribución cuantitativa mucho más irregular son: cuarzo, clorita, gedrita, biotita, y pargasita.

Conviene destacar el hecho de que el cuarzo, elemento marcadamente escaso en las metabasitas en general, puede alcanzar en zonas diversas y relativamente extensas de las anfibolitas megacrystalinas porcentajes del orden del 30 al 40% o incluso superiores.

c) El transito entre las anfibolitas megacrystalinas de grano fino

Ya dijimos anteriormente que el transito entre ambos tipos de anfibolitas de Arinteiro era aproximadamente el 50% de las ocasiones más o menos neto (flanco W. del yacimiento principalmente) pero que en otras zonas (flanco E. del yacimiento principalmente) consiste en una zona de transición.

La característica de esta zona de transición (que en la cartografía que comentamos se ha representado como si fuera un nivel definido por motivos obvios) es precisamente su heterogeneidad textural composicional, y de estructura.

El espesor va desde cero hasta 3-4 m. ordinariamente. Su mineralogía y textura varia arbitrariamente entre los extremos que separa.

C) La Mineralización de Sulfuros

La asociación de minerales observable en el campo es: pirrotina y calcopirita, con cantidades muy pequeñas de pirita.

Su ubicación ocupa, en forma diseminada, toda la zona de anfibolitas megacrystalinas de forma relativamente homogénea, y buena parte de las formaciones de transito entre las anfibolitas megacrystalinas y las anfibolitas de grano fino. Ocasionalmente las anfibolitas de grano fino en sus zonas adyacentes a las megacrystalinas pueden alcanzar también valores económicos de diseminación de sulfuros.

Pequeñas cantidades de pirrotina diseminada con algo o nada de calcopirita pueden observarse acá y alla en las anfibolitas de grano fino e incluso en los esquistos circundantes. La génesis de estas diseminaciones periféricas, aunque discutible, podría ser la misma que la del yacimiento principal, o simplemente removilizaciones a partir de este en fases más tardias.

El modo de yacer de los sulfuros, que antes denominamos diseminado, puede precisarse diciendo que es típicamente fisural, y que la red fisural es tan irregular y densa en muchas de las zonas que podría calificarse como craquelar. Así pues los sulfuros no solo ocupan espacios inter-

granulares sino que en buena parte cortan a los cristales - de prácticamente todos los silicatos usualmente visibles a ojo desnudo.

7.2.2.- Carácteres estructurales

Partiendo de la base de que las características es tructurales de la zona Fornás-Arinteiro quedan minuciosamente expuestas en el estudio de Fornás, y que el objetivo de este estudio es la definición genérica de este tipo de cria deros y no de las peculiaridades de cada uno de los diversos yacimientos, no haremos aquí sino dar los rasgos generales que de hecho ya se desprenden de la simple observación del mapa geológico.

Comparativamente con el conjunto de la zona, el ma pa geológico de Arinteiro nos muestra un área de relativa - sencillez estructural que permite una alineación general - constante (a gran escala) de las formaciones, de dirección aproximada N-S solo discretamente perturbada en las zonas - norte y centro-sur.

El buzamiento general es del orden de 30°-40° ha- cia el E. si bien son corrientes las perturbaciones locales debidas a pequeñas estructuras que aunque frecuentes no pro ducen alteraciones más que de su propio orden de magnitud.

Mención aparte merecen los citados replegamientos de de las zonas norte y centro sur, en las cuales al superponer se mesoestructuras de plegamiento se produce una acumulación de anfibolitas megacristalinas (nivel mineralizado) por dos factores: por engrosamiento de las anfibolitas megacristali-

nas en las charnelas, y por la proximidad de los flancos de los pliegues entre si.

Por lo que respecta a estructuras de fracturación es destacable que no se aprecian en la zona de afloramiento de las metabasitas de Arinteiro fallas de importancia.

7.3.- ESTUDIO DE LOS PERFILES DE ESPECTROGRAFIA, DIFRACTOMETRIA, PETROGRAFIA, METALOGENIA, Y ANALISIS QUIMICOS

Estos estudios se realizaron sobre 12 muestras de dos perfiles (pretendidamente paralelos entre si) perpendiculares al horizonte mineralizado y localizados en los extremos de la corta, para aprovechar el afloramiento ofrecido en los extremos de la misma por ser esta la zona que presenta la mejor sección aflorante del horizonte mineralizado.

Los perfiles empiezan y terminan siempre con una muestra de los esquistos neisicos que circundan el lentejón de metabasitas, y contienen un muestreo de cada una de las formaciones intersectadas.

En cada punto de los puntos de muestreo se efectuó una roza que tras su molienda y cuarteo sería eventualmente estudiada por espectrografia, difractorimetría, y análisis químico. Las muestras de mano para el estudio metalogénico y petrográfico se seleccionaron visualmente en los mismos puntos de muestreo, y llevan la misma numeración que las recogidas por el sistema de roza.

La ubicación de cada muestra viene dada en el plano nº 7

7.3.1.- Estudio por fluorescencia de rayos X

Todas las muestras (12) fueron analizadas por esta técnica espectrográfica. A continuación indicamos de forma resumida las principales conclusiones que se desprenden de los resultados que se incluyen en el anexo nº 3 partiendo -

de la clasificación de los elementos pesados de las muestras en: principales, secundarios y accesorios.

- a) Hierro y titanio son los únicos elementos pesados principales, y además aparecen ambos en todas las muestras excepto en las dos de esquistos neísicos de muro.

El alto contenido en titanio de las anfibolitas corrobora su atribución como metabasitas.

El alto contenido en titanio de los esquistos neísicos de techo podría ser materia de amplia discusión desde el momento en el que a una de sus muestras (11505) se la atribuyen en petrografía afinidades espilíticas pero en nuestra opinión el alto contenido de titanio en los esquistos podría deberse a un origen detrítico fino de una parte al menos de la formación.

- b) Los esquistos de techo y de muro presentan en ambos perfiles una diferencia notable, puesto que el hierro que con el titanio constituye en todas las muestras estudiadas el bimonio de minerales principales encuentra su excepción en los esquistos de muro donde se halla sólo como elemento secundario, quedando sólo el titanio como principal. Sin embargo puede existir un efecto exógeno capaz de dar esta diferencia, puesto que por tratarse de una formación meteorizada (permeable) sita a muro de la mineralización y topográficamente más baja que esta, puede haberse lixiviado a partir de las aguas que lavaban y descomponían el horizonte mineralizado aflorante antes de abrirse la corta.

- c) Resulta interesante destacar que el plomo no aparece en ninguna muestra ni en calidad de indicio.

7.3.2.- Estudio por difracción de rayos X

Todas las muestras menos una de las de esquistos neisicos, cuyo afloramiento estaba prácticamente convertido en arcillas fueron analizadas por esta técnica. Las conclusiones principales de los resultados que figuran en el anexo nº 4 (clasificando los minerales como: principales, secundarios, y accesorios) se resumen como sigue:

- a) El cuarzo no aparece en ninguna muestra de anfibolita de grano fino entre los minerales importantes, pero aparece como secundario en dos de ellas, que sin embargo no lo contienen en la lámina delgada correspondiente. Ello puede ser debido o a un mal tratamiento de la muestra de la roza de la que se ha hecho la difracción, o a que la roza haya intersectado alguna zona de cuarzo fisural. En cualquier caso su ausencia en las láminas delgadas indica que su distribución es muy localizada. Corroborando nuestra idea está el hecho de que en los estudios petrográficos realizados por el Dr. Tirso Febrel en 1968 no se cita el cuarzo en las anfibolitas de grano fino.
- b) El cuarzo aparece difraccionalmente como uno de los minerales principales en las dos muestras de anfibolita megacrística (mena) y en una de las muestras del tránsito entre las anfibolitas megacrísticas y las de grano fino; tránsito este que también se halla mineralizado. En la otra de las muestras de tránsito litológico mineralizado aparece también el cuarzo pero como cuantitativa-

mente secundario. Su relación pues con la mineralización o con la litología que la sustento parece clara.

- c) La Calcopirita aparece difractométricamente en tres de las cuatro muestras mineralizadas estudiadas y la blenda aparece en una sola de ellas correspondiente a un tránsito mineralizado entre la anfibolita megacristalina y la de grano fino. La pirrotina no aparece difractométricamente en ninguna.

Aparte pues de la comprobación de la presencia de la calcopirita y la blenda nos encontramos, en contraste con Fornás con que la pirrotina ha dejado de ser un mineral total y absolutamente predominante en el "todo uno". A pesar de todo, el hecho de que la pirrotina no llegue a detectarse, ni como indicio, nos hace recelar un inadecuado tratamiento de la muestra, puesto que el muestreo se hizo por medio de rozas, y la pirrotina es muchísimo más abundante y omnipresente que la blenda, si detectada.

7.3.3.- Estudio Petrográfico

El total de muestras estudiadas por esta técnica - fué de doce. Once de ellas corresponden a los perfiles efectuados, faltando la correspondiente al punto de muestreo - 11516 que por hallarse completamente meteorizado.

La doceava muestra (11516 bis) corresponde a una zona de anfibolitas finas con alteración endógena y removilizaciones hidrotermales en vetas.

Los resultados que figuran en el anexo nº 2 pueden resumirse como sigue:

Esquistos (usualmente de fábrica más o menos neílica)

Microscópicamente se reconocen en ellos dos esquistosidades.

El metamorfismo normalmente reconocible es de grado medio y da micaesquistos con estaurolita, distena, y granate. Existen también zonas de grado bajo (cloritoesquistos).

Se evidencia también otro metamorfismo de grado medio anterior a S_1 (vease lámina 11511) de cuya esquistosidad no se conservan restos.

Existen también muestras claras de removilizaciones retrógradas posteriores a S_2 .

Anfibolitas de grano fino

Microscópicamente se reconocen dos esquistosidades y tres paragénesis, que se detallan a continuación:

Paragénesis pre S_1 :

± Granate, anterior en parte a un anfíbol en cristales grandes de probable origen estático y a ± plagioclasa en cristales grandes o en nodulos.

Paragénesis singenética con (S_1 - S_2):

Anfíbol de grano fino + plagioclasa + titanita e ilmenita
+ clinozoisita.

Minerales post S_2 :

Sulfuros postesquistosos pecilíticos o fisurales $+$
epidota y clinozoisita.

La plagioclasa oscila entre An_{24} y An_{45} (oligoclasa andesina) y en algunas muestras resulta bastante escasa.

El metamorfismo es de grado medio, conservandose restos de una fase anterior de por lo menos grado medio también.

Esta litología resulta muy parecida a la del entorno de Fornás y también las fases de metamorfismo a partir del anfíbol grande estático, por lo que la aquí llamada S_1 podría corresponder a la S_2 del área de Fornás.

Anfibolitas Megacristalinas

Su fábrica pegmatoide, en la que no se han distinguido auténticas esquistosidades generalizadas en el campo, y menos en sección delgada, permite en cambio reconocer al microscopio las siguientes paragénesis principales.

1ª.- Paragénesis:

Ilmenita (mena titanífera opaca)

2ª.- Paragénesis:

Gedrita, pargasita $+$ estaurolita.

3ª.- Paragénesis:

Clorita, biotita (probablemente hidrobiotita)

4ª.- Paragénesis

Granate

5ª.- Paragénesis:

Cuarzo, plagioclasa, sulfuros

La ilmenita es anterior a las cuatro fases descritas, y en los granates define un bandeo que podría ser herencia de una anfibolita preexistente.

El granate presenta una aureola externa anisótropa, que indica alta presión de volátiles, y que podría corresponder a la 5ª paragénesis.

Resulta destacable que la biotita que no existía en la anfibolitas de grano fino, esteriles, aparece junto a la mineralización al igual que en los sulfuros masivos de Fornás.

La plagioclasa, tardía, es poco abundante en general y en algunas zonas particularmente escasa.

La presencia de la paragénesis: gedrita - estaurolita, en la formación mineralizada indica como en Fornás, un alto contenido en alúmina, impropio de una formación de metabasitas. Es destacable además que en el estudio del Dr. Tirso Febrel en 1.968 sobre láminas delgadas de Arinteiro correspondientes a la misma formación litológica, se cita también la cordierita, lo cual apoya aún más la idea de una paragénesis muy rica en alúmina, asociada sólo a la formación mineralizada de las metabasitas de Arinteiro, cuyo origen no puede explicarse a partir de ellas.

El metamorfismo que se deduce de este estudio es de

alta temperatura y baja presión, con alto contenido de volátiles en las últimas fases (granate anisotropo).

Existen pliegues de tipo king entre la 2ª y 3ª paragénesis, que afectan a biotitas y cloritas.

El Tránsito Anfibolitas de grano fino - Anfibolitas Megacrystalinas

Estas muestras se hallan bastante más próximas a las anfibolitas de grano fino que a las megacrystalinas por lo que a fases silicatadas se refiere, pudiendo observarse como en ellas dos esquistosidades, y un bandeo claro-oscuro anterior a ellas.

El granate (anterior a S_1) se concentra en las bandas oscuras y engloba ilmenita y titanita anteriores a él.

Paragénesis Pre S_1 - S_2 :

1. Ilmenita y titanitas del granate
2. Granate
3. Anfíbol grande + plagioclasa (en parte posterior al anfíbol grande).

Paragénesis singenética con (S_1 - S_2):

Anfíbol (tschermaquita) + plagioclasa + ilmenita +
+ titanita.

Minerales Post S_2 :

Clorita + plagioclasa grande + cuarzo + dlinzoisita
+ sulfuros.

La principal novedad mineralógica que acompaña a la abundancia de sulfuros en las zonas de tránsito, y que las acerca a las anfibolitas megacristalinas es la aparición de cuarzo y plagioclasa tardía junto a los sulfuros, pero sin embargo no se ha llegado a observar todavía ni gedrita ni estauroлита, ni cordierita, ni biotita, como en las muestras de anfibolita megacristalina.

7.3.4.- Estudio Metalogénico

Todas las muestras excepto las dos correspondientes a los esquistos de muro han sido estudiadas por esta técnica habida cuenta de la existencia de sulfuros diseminados (en mayor o menor proporción) en todas las formaciones litológicas que circundan el yacimiento de Arinteiro, dada la conveniencia de establecer relaciones entre la génesis del yacimiento y las formaciones circundantes. Las dos únicas muestras que no fueron estudiadas, no lo fueron en razón del alto grado de meteorización de los afloramientos correspondientes.

Las principales conclusiones y consecuencias se extraen de los resultados que se exponen en el anexo nº 5 son las siguientes:

- a) La mineralización de sulfuros es siempre tardía y diseminada, (intergranular, fisural, etc) y el único mineral que en ocasiones se presenta en formas cristalinas es la pirita.
- b) La pirrotina es el sulfuro más abundante de las tres --

muestras auténticamente mineralizadas (dos de anfibolitas granatífera, y una del tránsito de éstas a anfibolitas de grano fino) pero la calcopirita se encuentra en el mismo orden de magnitud que la pirrotina, en clara diferencia - con lo que ocurre en Fornás.

- c) La asociación completa de los sulfuros que se han identificado por luz reflejada es la siguiente:
Pirrotina, calcopirita y pirita como prácticamente omnipresentes; Blenda como frecuente; y covellina, calcosina, y arsenopirita como ocasionales.
- d) La ilmenita abunda en general en todas las muestras asociada a los silicatos y sólo no se cita en una de las muestras de anfibolitas de grano fino, y en una de las de esquisto, en la cual sin embargo se cita el rutilo como abundante.
- e) No se observan en ninguna muestra mineralizaciones de níquel ni de cobalto.
- f) Diseminaciones de pirrotina - pirita - calcopirita son muy frecuentes en las anfibolitas de grano fino y los esquistos inmediatos, siempre como minerales diseminados (intergranulares o fisurales).
- g) Salvo en el caso de la arsenopirita, que sustituye como en Fornás a la pirita, no existen criterios decisivos que permitan establecer el orden de cristalización de los sulfuros sin embargo aquí como en Fornás debemos considerar que la pirita es más lógico que sea posterior a
-

la pirrotina que al contrario pues de ser anterior se habría transformado al menos parcialmente en pirrotina.

Por lo que respecta a las relaciones pirrotina calcopirita - blenda cabe decir que la blenda aquí en Arinteiro, lo mismo que en Fornás, suele ir asociada a la calcopirita, y que la pirrotina, en Fornás presenta pliegues tipo King - que no afectan a la calcopirita lo cual insinúa un origen - anterior para este sulfuro de hierro. Como por otro lado se observan amplias zonas superficiales meteorizadas con calcosina, podemos suponer que junto con la covellina tiene probablemente origen supergénico. Así pues el orden de crystalización que nos parece con más posibilidades es el siguiente:

Pirrotina

Calcopirita - blenda

Pirita (a expensas de la pirrotina por retrogradación).

Calcosina - Covellina.

7.3.5.- Análisis químicos

El total de muestras analizadas es de nueve que corresponden a todas las de rocas básicas (ocho) más una de esquistos, correspondiente al nivel de techo del perfil norte (vease el plano nº 7 de localización de muestras).

Considerando en principio que este yacimiento podría pertenecer al grupo de los criaderos de Ni - Cu de tipo Sudbury las muestras fueron analizadas como en Fornás, para: Cu - As - Ni - Co - Zn - Ag - Au - Pt - Pd - Ir.

Las conclusiones que pueden extraerse de los resultados que figuran en el anexo nº 6 son las siguientes:

- a) El contenido de cobre de las tres muestras auténticamente mineralizadas analizadas (dos de anfibolita granatífera y una del transito anfibolita megacrystalina - anfibolita de grano fino) oscila entre 0,3% y 1,9% (la media del yacimiento es del 0,6%)
- b) Los valores de Ni en las mismas tres muestras bien mineralizadas no alcanza nunca los 200 p.p.m. y se mantienen por lo tanto dentro del orden de magnitud de los valores de fondo normales en rocas de composición basáltica (150 p.p.m. - Levinson, 1.974-).
- c) El contenido en zinc, cobalto, y níquel aumenta en las ya citadas tres muestras bien mineralizadas con respecto a los contenidos en los mismos metales en las muestras correspondientes a las anfibolitas estériles del entorno. Pero en diferencia con Fornás donde el zinc aumentaba hasta varios miles de partes por millón, aquí no alcanza más de 640 p.p.m. como máximo.
- d) El cobalto, a pesar de tener en las anfibolitas estériles valores inferiores a los del Ni, aumenta en las zonas mineralizadas más acusadamente que este aunque sin superar el orden de uno o varios cientos de partes por millón, de modo que siempre y sólo cuando la roca se halla bien mineralizada la relación Co/Ni se hace mayor que 1. Esta tendencia del Co a fluctuar de acuerdo con la mineralización de pirrotina - calcopirita lo hace útil como elemento de

apoyo en geoquímica como se ha demostrado en Fornás (Vea-se 11.1.3.B).

- e) El grupo de platinoides analizados (Pt - Pd - Ir), no da ningún valor en ninguna de las muestras de anfibolitas - analizadas. Solo en la muestra de esquistos se consigue un valor, que es el de 1 p.p.m. en Pd.
- f) El oro no "se aprecia" en ninguna muestra, y la plata se aprecia sólo en una muestra de anfibolita de grano fino - sin otro tipo de mineralización de interés (Ag: 4 gr/Tm)
- g) Los contenidos de arsénico, que en ningún caso rebasan los 0,009 p.p.m. parecen tener también aquí, aunque menos claramente que en Fornás una tendencia a elevarse en las zonas más mineralizadas pero sus valores absolutos son siempre tan bajos que no permiten concluir nada fiable.
- h) Resulta notable la similitud de las conclusiones extraídas de los análisis químicos de Fornás y de Arinteiro (ver - 6.4.4.)

7.3.6.- Consideraciones genéticas del yacimiento

Los hechos que a nuestro juicio parecen fundamentales son los siguientes:

- a) Las mineralizaciones de sulfuros de Arinteiro se ciñen estrictamente a un horizonte lenticular estratiforme plegado y concordante con los contactos litológicos regionales próximos.
- b) La mineralogía de la fracción silicatada del nivel mineralizado observado en dos secciones delgadas estudiadas, se caracteriza por: cuarzo, anfíboles, piroxenos, granates - plagioclasas, y por la presencia de minerales aluminicos - como estauroлита, cordierita (citada por Febrel), y abundante gedrita. Todo ello con marcada textura megacristalina pegmatoide.
- c) La asociación silicatada que acabamos de citar borra por completo todas las esquistosidades y todas las paragenesis sinesquistosas y preesquistosas si se exceptúan algunas alineaciones de la ilmenita incluida en los granates.
- d) La composición química correspondiente a la mineralogía citada puede asimilarse sin dificultad a la de una roca de tipo pelítico - aluminico metamorfizada, dentro del arco - Arinteiro. Bama - Cerro de San Sebastian.
- e) En otros yacimientos de sulfuros en anfibolitas del mundo de genesis diversa, la mineralización se halla también asociada a ensamblajes pegmatoideos megacristalinos granatíferos tardios, como reacción metamórfica entre los sulfuros - y la fracción silicatada que los albergaba (ver 9.2.2.C).

A partir de las premisas enumeradas pueden extraerse las siguientes deducciones:

- a) El hecho de no haberse visto relictos no mineralizados ni pegmatoideos - megacristalinos de metapelitas, puede deberse a que estas metapelitas pudieran estar representados - por para - anfibolitas logicamente polimetamorfizadas, con texturas y granulometría fina semejantes a las ortoanfibolitas usuales de la zona.
- b) El eventual hallazgo de relictos de para - anfibolitas resulta imposible a partir del muestreo realizado en el presente trabajo, que sólo pretendía una muestra representativa de cada nivel macroscopicamente reconocible cruzado por cada uno de los dos perfiles realizados normalmente a las estructuras del yacimiento de Arinteiro, recolectándose por lo tanto dos muestras típicas de cada nivel (una en cada perfil).
- c) El hecho de que compuestos tan móviles como los sulfuros - aparezcan como tardíos en unas muestras en las que se han removilizado todos los minerales silicatados pre-esquistosos y sinesquistosos no implica que la mineralización no puede ser premetamórfica removilizada.
- d) Aunque cabe pensar que la presencia de minerales como estauroлита y cordierita pudiera deberse a un metasomatismo proveniente de la migmatización de las metapelitas inferiores al complejo básico y que las mineralizaciones de sulfuros tuvieron también el mismo origen, es decir a partir de metapelitas exteriores al complejo básico, hay que considerar que en el caso de Arinteiro esta teoría es más compleja que la de suponer una intercalación pelítica dentro de las metabasitas y hay que considerar también que son

abundantísimos los depósitos e indicios de pirrotina - calcopirita dentro de los complejos metabásicos del área de Santiago, mientras que no se conocen indicios significativos de estos sulfuros en los complejos metapelíticos de Santiago ni de Ordenes, por lo menos en las zonas de Galicia próximas a la que estudiamos.

En consecuencia, consideramos como la génesis más probable de este yacimiento la singénica, vulcano - sedimentaria, puesto que se halla ligado estrictamente a un nivel estratiforme plegado de composición aluminica, con minerales como estaurolita - cordierita - gedrita, e intercalado concordantemente dentro de un complejo de ortoanfibolitas polimetamorfizadas.

Para ratificar esta génesis se podría hacer un muestreo detallado de las anfibolitas de grano fino inmediatas al cuerpo mineralizado (o eventualmente incluidas en él) buscando minerales muy aluminicos de edad preesquistosa o sinesquistosa.

En este sentido cabe recordar aquí que la geoquímica de batea realizada en el entorno de Fornás-Gema-Gamás, sobre un área de aproximadamente 35 Km^2 ha dado algo de distena en 19 muestras sobre un total de 22. Es sabido que este mineral puede encontrarse en algunas granulitas básicas por efectos de alta presión; sin embargo, dado que las granulitas propiamente dichas han sido en general muy retrometamorfizadas podría representar un mineral relictivo en las ortoanfibolitas o quizá también tener origen en algún o algunos niveles originales de tipo pelítico hoy convertido quizá en una

para - anfibolita no localizada. En apoyo lo último cabe decir que no aparece la distena en ninguna de las 35 láminas - delgadas estudiadas en relación con los 11.8 Km² de cartografía realizada en el entorno de Fornás, Gema y Gamás. Ello parece abogar más por la presencia de algunas intercalaciones de para - anfibolita no muestreada, que por la presencia de un mineral relictivo de distribución irregular pero amplia, que más difícilmente habría escapado a un muestreo petrológico de unas 3 muestras por kilometro cuadrado.

**8 · RESUMEN COMPARATIVO DE LAS PRINCIPALES
CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICO-
METALOGENICOS DE FORNAS Y ARINTEIRO**

8.- RESUMEN COMPARATIVO DE LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICO-METALOGENICOS DE FORNAS Y ARINTEIRO

FORNAS

- a) El entorno de Fornás lo constituye un macizo de anfibolitas de grano fino (con diferenciados anatéticos de grano medio) de un -- diámetro medio de 7,5 Km. rodeado de esquistos neísicos precámbricos.
- b) Las anfibolitas del entorno de Fornás son -- metabasitas en las que se reconocen cinco -- fases metamórficas, la primera de las cuales fue granulítica y las siguientes retrogradadas hasta llegar a la última de muy bajo grado, o hidrotermal.
- c) En las metabasitas del área de Fornás se distinguen 4 fases tempranas de plegamiento que dan esquistosidad de flujo y 3 fases posteriores que dan pliegues laxos y están ligados a removilizaciones anatéticas locales segui-

ARINTEIRO

- a) El entorno del yacimiento de Arinteiro lo constituye un lentejón de anfibolitas de grano fino (rodeadas de esquistos neísicos precámbricos) en cuyo núcleo existe una formación también lenticular de anfibolitas megacristalinas.
- b) Las anfibolitas de Arinteiro son metabasitas en las que se reconocen claramente un metamorfismo de grado medio, precedido por lo menos de otro de por lo menos el mismo grado, y seguido de un hidrotermalismo ligado a un metamorfismo de bajo grado.
Las paragénesis sílicatadas son semejantes a las de Fornás si bien no se observan aquí las más tempranas de aquel yacimiento.

FORNAS

- das de diversas etapas de fracturación
- d) La asociación de los sulfuros más abundantes y omnipresentes en la mena de Fornás es: pirrotina masiva + calcopirita + pirita. A pesar de no haberse podido establecer con certeza el orden de cristalización, el que nos parece más lógico para la asociación completa de sulfuros es el siguiente:
- Pirrotina, calcopirita-blenda, pirita, arsenopirita.
- e) Las principales mineralizaciones e indicios de sulfuros son absolutamente posteriores a todas las fases de plegamiento relacionándose en cambio con desgarres de dirección aproximada 140° y rellenando huecos virtuales que en el caso concreto de Fornás parecen ser de tipo "gash joints" (diaclasas plumosas)

ARINTEIRO

- c) A pesar de no haber realizado trabajos de campo con fines estructurales en esta zona, que por su proximidad no puede ser muy distinta a la de Fornás, diremos que los estudios petrográficos de las metabasitas revelan dos equistosidades y restos de un bandeo claro-oscuro previo a las dos. Por correlación entre paragénesis silicatadas parece que la S₁ de Arinteiro podría corresponderse con la S₂ de Fornás.
- d) La asociación de los sulfuros más abundantes y omnipresentes de Arinteiro es esta compuesta por una diseminación pirrotina y calcopirita + pirita. A pesar de no haberse podido establecer con certeza el orden de cristalización, el que nos parece más lógico para la asociación completa de sulfuros es el siguiente:
- pirrotina, calcopirita-blenda, pirita -

FORNAS

relacionadas con los citados desgarres

- f) La presencia de estauroлита, esfínela, gedrita alumínica y hercinita como --
ganga englobada en la mena masiva de
Fornás establece, por su riqueza en a
lúmina, una incompatibilidad entre las
metabasitas de caja y la génesis de es
tos minerales de indudable origen en
niveles de tipo pelítico, logica--
mente infrayacentes, que solo pueden ha
ber ascendido por alta presión de flui
dos hidrotermales, neumatolíticos, o --
por hallarse envuelta en una masa de --
sulfuros en estado plástico.
- g) Los contenidos de Ni y Co de la minera-
lización de sulfuros, a pesar de incre-
mentarse ligeramente con respecto a los
de las metabasitas estériles circundan-
tes, no rebasan nunca el orden de magni

ARINTEIRO

arsenopirita, calcosina-covellina.

- e) Las mineralizaciones de sulfuros de --
Arinteiro aparecen como posteriores a
todas las fases de plegamiento, aunque
por formar parte de un proceso tardío
que comporta la recristalización total
de la roca no puede excluirse por ello
la posibilidad de que sean singenéti-
cas removilizadas. En este sentido y
aunque no sean concluyente debe citar-
se que constituyen un nivel plegado --
por diversas fases tectónicas.
- f) La presencia de estauroлита, cordieri-
ta (citada por Febrel) y gedrita, en --
la roca que alberga los sulfuros dise-
minados, compuesta además por anfíbo-
les, granate, cuarzo, piroxeno, plagio
clasa, etc. indica un contenido en alú
mina propio de niveles pelíticos. Si la

FORNAS

- g) tud normal propia de las rocas de composición basáltica. Por otro lado no se aprecian platinoïdes asociados a la mineralización.
- h) Resulta normal la presencia de cierta cantidad de cuarzo incluido como ganga de los sulfuros masivos de Fornás.
- i) A la vista de la probabilidad de que la génesis de Arinteiro sea de tipo vulcano-sedimentario, y el nivel mineralizado de naturaleza metapelítica, se abre claramente la posibilidad de que las mineralizaciones removilizadas de tipo Fornás provengan de unidades vulcanosedimentarias intercaladas dentro de los propios complejos metabasicos. En este sentido conviene destacar el hecho no concluyente de la amplia distribución de la distena en los concentrados de la geoquímica de batea efectuada en -

ARINTEIRO

- alumina no es un aporte metasomático emanado de metapelitas migmatíticas ajenas al complejo básico, de lo cual no hay pruebas, se ha de concluir que el nivel mineralizado representa una intercalación pelítica en el -- conjunto de ortoanfíbolitas y en este caso - el yacimiento sería probablemente vulcanosedimentario. Esta última posibilidad a pesar de no estar demostrada resulta la más fácil, y - explicaría el que todos los indicios significativos de la zona aparezcan en el complejo básico y no en los complejos metapelíticos de - Santiago y de Ordenes.
- g) Los contenidos de Ni y Co de la mineralización de sulfuros, a pesar de incrementarse - ligeramente con respecto a las de metabasitas estériles circundantes no rebasan nunca el orden de magnitud normal propio de las rocas de composición basáltica. Por otro lado no se aprecian platinoïdes asociados a la mineralización.

FORNAS

los entornos metabásicos de los yacimien-
tos de Fornás, Gema y Gamás.

ARINTEIRO

h) Resulta normal la presencia de cuarzo aso-
ciado a la formación mineralizada de Arin-
teiro pudiendo en ocasiones representar por-
centajes importantes sobre el total de la -
roca.

**9 · ESTUDIO DOCUMENTAL COMPARATIVO DE LOS
CRIADEROS DE COBRE DEL AREA DE SANTIAGO
DE COMPOSTELA CON LA TIPOLOGIA MUNDIAL
DE CRIADEROS DE Cu - (Ni)**

9.- ESTUDIO DOCUMENTAL COMPARATIVO DE LOS CRIADEROS DE COBRE DEL AREA DE SANTIAGO DE COMPOSTELA CON LA TIPOLOGIA MUNDIAL DE CRIADEROS DE Cu - (Ni)

A pesar de que la bibliografía consultada ha sido abundante como se verá en el apartado correspondiente, sólo vamos a comentar aquí los trabajos que nos han sido más útiles y que refieren circunstancias más semejantes a los yacimientos cuyo estudio nos ocupa.

Creemos interesante comenzar a partir de dos clasificaciones de yacimientos de cobre tan clásicas como la de Routhier (1963) y la de Pélissonnier (1972) para empezar eliminando rápidamente los yacimientos más dispares a los de Santiago de Compostela y luego ir profundizando más y más cada vez en los tipos mundiales parecidos y terminar con una descripción lo más completa posible de aquellos tipos a los que más se asemejan los de la zona de Santiago.

9.1.- TIPOS MUNDIALES TOTALMENTE DISPARES A LOS YACIMIENTOS DEL AREA DE SANTIAGO

Los tipos totalmente dispares que pueden ser descartados sin más preambulos son los siguientes:

- a) Yacimientos cupríferos en rocas sedimentarias sin relaciones visibles con intrusiones plutónicas ni vulcanismos (Red beds, etc).
- b) Yacimientos de estaño, cupríferos (greisens etc)

- c) Yacimientos de óxidos de hierro con sulfuros de cobre, y yacimientos metasomáticos de contacto de tipo skarn (Cala por ejemplo).
- d) Yacimientos de energita y de tenantita (menas sulfoarseniuradas de cobre).
- e) Yacimientos de tipo porphyry cooper.
- f) Yacimientos de cobre nativo en basaltos
- g) Yacimientos de siderita con cantidades menores de calcopirita.
- h) Yacimientos de mispiquel (o pirrotina) aurífera con algo de cobre
- i) Yacimientos estratiformes asociados a rocas volcánicas pobres en pirita (o pirrotina).

9.2.- TIPOS MUNDIALES DE YACIMIENTOS CUPRIFEROS CON CIERTAS SIMILITUDES A LOS YACIMIENTOS DEL AREA DE SANTIAGO.

Estos tipos pueden resumirse en los grupos siguientes que discutimos a continuación:

- a) Yacimientos de cobre asociados a rocas metamórficas diversas sin relación visible con plutones.
- b) Yacimientos de cobre y níquel asociados a rocas básicas (o ultrabásicas) frecuentemente metamorfizadas.

- c) Yacimientos de calcopirita (con cuarzo) relacionados con plutones ácidos (hidrotermales y neumatolíticos).
- d) Yacimientos piritosos asociados a complejos volcánicos o vulcano - sedimentarios.

9.2.1.- Yacimientos de cobre asociados a rocas metamórficas diversas sin relación visible con plutones.

Resulta evidente que los yacimientos que nos ocupan están conectados, por lo menos espacialmente, con formaciones polimetamórficas. Sin embargo este tipo de Routhier es un cajón de sastre en el que cabe cualquier tipo genético de yacimiento que se haya visto afectado por un metamorfismo ulterior. Por ello consideramos que haríamos un flaco servicio si nos conformáramos con quedarnos anclados ahí, y por lo tanto vamos a continuar con la revisión de la tipología mundial hasta llegar a metas menos ambiguas.

9.2.2.- Yacimientos de Cu-Ni Asociados a Rocas Básicas (o Ultrabásicas) Frecuentemente metamorfizadas.

A) Carácteres fundamentales de este tipo

- a) Se trata de mineralizaciones sulfuradas de Ni y Cu con cantidades importantes de platinoides. Los minerales metálicos fundamentales son: Pirrotina, pentlandita y calcopirita.
- b) La litología asociada, común a todos estos yacimientos, son intrusiones gabroides comunmente norfíticas, aunque un notable número de yacimientos se hallan en rocas ultrabásicas, y algunos otros incluso en lavas básicas o ultrabásicas.
- c) Comunmente estos yacimientos contienen cantidades variables de magnetita, titanomagnetita, e ilmenita como minerales accesorios, pero la cromita está ausente o poco menos.

- d) Las mineralizaciones se localizan en general a lo largo del contacto intrusivo (en zonas generalmente tectonizadas), ya sea en forma laminar en el mismo contacto, a ambos lados del mismo, o incluso unicamente en la roca intruida dando lugar a "offsets". La mineralización va desde diseminada (intersticial, fisural, o en burbujas) a lo masivo pasando por el network. En ocasiones se halla cementando brechas, particularmente en el contacto supuestamente intrusivo.
- e) El origen de estos yacimientos ha sido muy discutido. En el caso concreto de Sudbury (uno de los mejor estudiados y más controvertidos) se han propuesto las siguientes teorías que no vamos a discutir aquí pero que todas tienen sus buenas razones por lo menos para la zona concreta de donde han emanado:
- 1) Diferenciación "in situ" como consecuencia de la inmiscibilidad de las fases sulfuradas y silicatadas del magma.
 - 2) Diferenciación magmática, también, pero en profundidad, con posterior inyección de los sulfuros (hasta su posición actual) en estado plástico.
 - 3) Hidrotermal con procesos de reemplazamiento.
 - 4) Sulfurización con consecuente extracción de hierro, níquel, cobre, etc, como sulfuros.
 - 5) Impacto meteórico, con la creación de un crater tapizado de mineralización sideral, el cual dispararía el magmatismo básico que relleno el crater.

B) Otras anotaciones de interés

- 1) La mayoría de los complejos básico - ultrabásicos que

albergan mineralizaciones de Cu-Ni son de dimensiones realmente importantes. El complejo de Sudbury es de 60 Km x 30 Km. Bushveld 450 Km x 120 Km, etc.

- 2) Con frecuencia estos complejos básico-ultrabásicos presentan una estratificación o zonación consistente en rocas ultrabásicas en la base (si las hay), rocas gabroides en el centro, y rocas ácidas o intermedias en la parte alta, formando una estructura lopolítica, aparentemente decapitada por la erosión, que se manifiesta pues en superficie como si se tratara de una cubeta sinclinal. Las mineralizaciones principales aparecen en la periferia básica (ocasionalmente ultrabásica), o sea en su parte basal.
- 3) En la parte basal, o contacto entre las rocas básico-ultrabásicas y las rocas de caja, la mineralización se localiza con preferencia en zonas muy tectonizadas. En el caso de Sudbury existe en esta zona una brecha, frecuentemente cementada por sulfuros, que presenta estructuras netas de metamorfismo de impacto, lo cual dió, con fundamento, razón para la hipótesis de un impacto meteorítico, que provocaría la extrusión del magma básico. Que la mineralización sea realmente sideral o que este derivada del magmatismo en una forma u otra es otra cuestión distinta.
- 4) En algunos casos las rocas básicas asociadas a las mineralizaciones han sido metamorfizadas y transformadas en anfibolitas. Este es por ejemplo el caso del yacimiento d'Empress (Rhodesia) y el del yacimiento de Selebi-Pikwe (Botswana).
- 5) Los platinoides son característicos en este tipo de yacimientos. En el caso de Sudbury el total de elementos recuperados es de catorce: Ni, Cu, Co, Fe, Ag, Au, Pt, Pd, Ru, Ir, Rh, Te, Se y S.

C) Los Yacimientos Selebi - Pikwe (Botswana) y su similitud - con los del area de Santiago.

De estos dos yacimientos similares del cinturón orogénico de Limpopo vamos a referirnos únicamente al de Pikwe para mayor facilidad de comparación.

Pikwe se halla asociado, como los de Santiago, a anfibolitas polideformadas y polimetamórficas de carácter metabásico, de grano fino a medio, con hornblenda y plagioclasa como minerales esenciales y origen troctolítico en general.

Las metabasitas constituyen, como en Arinteiro, un cuerpo delgado (50 m) concordante con un entorno néflico. El yacimiento constituye una antifirma como ocurre también en la zona Bama - Arinteiro.

La asociación de minerales principales es: pirrotina, pentlandita, calcopirita y magnetita. En este sentido la diferencia con la zona de Santiago es que en Pikwe la pirrotina tiene exudaciones de pentlandita, y que en vez de ilmenita, como en Santiago, hay magnetita.

El yacimiento de Pikwe se subdivide en tres zonas - que representan cuatro estilos distintos del modo de yacer de la mineralización.

Mineralización en Anfibolitas Pegmatoideas granatíferas:

Las anfibolita de grano fino y textura foliada sufre

importantes modificaciones texturales y mineralógicas que se consideran claramente relacionadas con la mineralización de sulfuros, transformándose en una asociación pegmatoide de hornblenda, granate, labradorita, y sulfuros, con cantidades menores de biotita, y gedrita.

El reemplazamiento de las anfibolitas de grano fino por la facies pegmatoide de hornblenditas granatíferas se considera efectuado gracias a la reacción de los sulfuros con los silicatos en presencia de magnetita, con el consiguiente enriquecimiento en hierro de la fase silicatada. Como resultado de este proceso se destruye la foliación preexistente, aunque se afecta por una cataclasis posterior. La mineralización de sulfuros se halla principalmente en forma de pequeñas bolsadas y segregaciones de grano grueso, pero también en diseminaciones de grano fino a medio, o incluso en vetitas y fisuras.

Se trata pues de una facies pegmatoide granatífera muy parecida a las de Bama - Arinteiro, pero aquí no se cita la presencia de minerales tipo estaurolita como los que se citan en Arinteiro. Por otro lado la fase pegmatoide borra la esquistosidad principal, regional como en Arinteiro, y solo se ve afectada por una fase cataclástica ulterior a la que sigue un último periodo de plegamiento de gran radio sin esquistosidades que no produce efectos significativos en la formación mineralizada.

Puede resultar conveniente dejar constancia aquí de que en las afueras de Santiago de Compostela existen en la zona denominada Ultreya removilizaciones de la anfibolita de

grano fino a favor de la propia esquistosidad principal, que conducen a la formación de zonas de fábrica neisica ocelar, en la que se observa como sobre la base de grano fino se desarrollan ocelos de granates de varios centímetros, con cuarzo, plagioclasa, algo de carbonatos y pirrotina - calcopirrita. Ello demuestra una vez más como la génesis de las anfibolitas granatíferas megacristalinas está directamente relacionada con la génesis del criadero de sulfuros.

Mineralización Masiva en el contacto anfibolitas de grano fino - Neis

El contacto sinuoso entre las anfibolitas de grano fino a medio y los neises ha actuado como una falla en dirección y ha creado unos huecos virtuales que han sido rellenos por sulfuros. Esto es lo que parece evidente en los esquemas en planta expuestos en el trabajo de J. Wakefield -- (1.976) aunque en este trabajo no hemos visto mención alguna a falla.

La mineralización masiva, que no supera en general los 21 m. y engloba bloques de anfibolita, no siempre pasa bruscamente a roca de caja esteril ya que con frecuencia tiene un tránsito de varios metros con diseminación de sulfuros, los cuales ocasionalmente tiene carácter pegmatoideo granatífero como el descrito en el apartado anterior. Mediante transitos como el citado se pasa de este tipo de yacimiento al anteriormente descrito en anfibolitas pegmatoideas.

Las zonas con contactos no pegmatoideos constituyen pues un modelo extremadamente parecido al de las Minas de Fornás, Gema, Gamás, en la zona de Santiago. La mayor diferencia está en la ausencia de Ni y presencia de minerales del -

estilo de estaurolita en las minas de Santiago.

Mineralizaciones offset

El tipo anteriormente descrito se hallaba en un con tacto fallado en dirección. Esta falla se prolonga más allá de la terminación del propio lentejón de metabasitas quedando como una falla en dirección en medio exclusivamente neisi co. Por lo demás la mineralización presenta las mismas características que la masiva del contacto anfibolitas - neis descrita en el apartado anterior, con las únicas salvedades de - que tiene una potencia de solo 10 m; de que existen algunas zonas semimasivas; y de que las inclusiones son bloques de neis y sólo excepcionalmente se ha citado alguno de anfibolita.

Mención a parte merece el hecho de que localmente se han observado en los neises del contacto con los sulfuros procesos de recristalización de grano grueso dando lugar a - asociaciones pegmatoides de granate - plagioclasa, hasta una distancia de un metro del contacto con los sulfuros.

Este tipo "offset" es el único de los volumetricamente significativos de Pikwe que no se ha encontrado todavía en el área de Santiago.

Diferenciaciones Ortomagmaticas "in situ" en un relicto ultrabásico.

En el centro de la formación de anfibolitas existe un gran relicto ultrabásico cuya litología predominante co-

responde a ortopiroxenitas con espinela, y hornblenditas, con zonas pequeñas en las que se conserva olivino.

La mineralización de sulfuros consiste en pirrotina, calcopirita y pentlandita diseminadas por todo. Los contactos entre grandes superficies de contacto entre sulfuros y gruesos cristales de olivino son siempre lisos y en general suavemente ondulados. Además tanto el olivino como las espinelas contienen granos en forma de gota o de burbuja de sulfuro, mayores de 5 mm., los cuales ocasionalmente forman texturas -- "dumbbell" características de fenómenos de coalescencia en globulos líquidos. Estas texturas son de gran importancia para probar el origen magmático de la mineralización de Pikwe, demostrando la existencia de una fase sulfurada líquida inmiscible.

Fenómenos como el descrito no se han observado nunca en la zona de Santiago; de todas maneras la observación de fenómenos como el descrito en Pikwe requieren la conservación de relictos premetamórficos en una determinada zona conveniente, lo cual ni es fácil que ocurra siempre, ni es fácil que acaben en una sección pulida o en una lámina delgada donde puedan ser reconocidos, puesto que los geólogos no pueden estar revisando permanentemente el avance de una explotación en busca de fenómenos cuantitativamente anecdóticos.

D) Similitudes y diferencias entre los yacimientos de Cu - Ni asociados a rocas básicas - ultrabásicas y los yacimientos del área de Santiago.

Similitudes Principales

- 1) La similitud de la asociación de sulfuros fundamentales de Fornás - Arinteiro, a la que solo falta la pentlandita para ser prácticamente idéntica. Sin embargo esta pequeña ausencia es sumamente importante para incluir la zona de Santiago en esta tipología mundial, como de mostraremos más adelante.
- 2) La ausencia de cromita.
- 3) La litología asociada básica - ultrabásica.
- 4) La apariencia lopolitiforme del complejo básico - ultrabásico.
- 5) La dimensión del diametro del supuesto lopolito que en el arco Santiago-Mellid es del orden de 60 Km (muy similar a la de Sudbury).
- 6) La tectonización del contacto exterior del complejo básico que en diversas zonas viene marcado por filones de cuarzo kilométricos de espesores en el orden de los 200 m.
- 7) La similitud de las texturas pegmatoides, granatíferas de algunos de los yacimientos metamórficos de esta tipología con respecto a la zona de Santiago.

Diferencias principales

- 1) La presencia de minerales muy ricos en alúmina del tipo de estaurolita, cordierita, hercinita etc. como ganga de la mineralización del área de Santiago.
- 2) La ausencia de sulfuros de níquel, y en general el bajísimo contenido de este elemento en las menas del área de Santiago.

El 1º de los puntos citados es de suma importancia como ya se ha dicho en diversos apartados de este informe - porque minerales como estaurolita y cordierita son propios de formaciones pelíticas metamorfozadas caracterizadas por - un contenido normal de silice y una alta concentración a aluminio pero son impropios de rocas metabásicas, y de hecho no se conocen en las metabasitas no mineralizadas de Santiago. Las espinelas por otra parte pueden darse en rocas ultrabásicas más por la escasez relativa de silice que por el exceso real de aluminio, pero también son impropios de rocas básicas relativamente abundantes en silice y cuyo contenido de alúmina es por otra parte normal. Así pues el origen de los sulfuros y de los silicatos aluminicos de su ganga hay que buscarlo - en relación con metapelitas, como ya se expuso en los estudios particulares de Fornás y de Arinteiro de este mismo informe.

La 2ª de las diferencias enumeradas es también de - importancia capital.

Podría argumentarse quizá que así como la faja pirítica de Huelva existen yacimientos sin apenas plomo o sin apenas zinc y no por ello dejan de pertenecer a la tipología - vulcano - sedimentaria, podrían existir también algunos yacimientos de Ni - Cu asociados a rocas básicas - ultrabásicas típicas en todos sus caracteres pero que excepcionalmente tuvieran un contenido despreciable en Ni. Esto resulta imposible en este caso puesto que recientes estudios (Maclean y Shimazaki - 1967) han demostrado que las relaciones de Ni/Cu de diversos yacimientos del tipo Sudbury, y por extensión lógica la relación Ni/Cu de todos los demás yacimientos que per-

tenezcan auténticamente al tipo de yacimientos de Ni - Cu asociados a rocas básicas - ultrabásicas, viene condicionada por una génesis derivada de una diferenciación magmática como consecuencia de la inmiscibilidad de la fase sulfurada y silicatada del magma. El citado estudio se basa en el cálculo experimental de los coeficientes de reparto del Ni, Cu, Co, Fe y Zn entre una fase sulfurada y silicatada a la temperatura de 1.150° C a presión y temperatura ambiente. El estudio da como resultado que los coeficientes de reparto de estos metales.

$$K = \frac{\% \text{ peso metal en fase sulfurada}}{\% \text{ peso metal en fase silicatada}}$$

son $K_{Ni} = 150$, $K_{Cu} = 50$, $K_{Co} = 7$, $K_{Fe} = 1,2$, $K_{Zn} = 0,5$

La temperatura del magma y su composición pueden variar estos coeficientes pero en el mismo sentido para cada uno de estos metales de modo que se mantiene $K_{Ni} > K_{Cu} > K_{Co} > K_{Fe} > K_{Zn}$ así que las relaciones del tipo Ni/Cu varían muchísimo - menos por tales causas, dependiendo mucho más del contenido de cada uno de estos metales en el magma madre.

A de destacarse que el contenido en Ni de los magmas es mayor cuanto mayor sea el olivino normativo (el olivino -- llega a contener hasta alrededor de 2.000 ppm. de Ni), mientras el fenómeno inverso ocurre para el Cu. La cristalización del olivino en el seno del magma puede disminuir rápidamente el contenido de Ni de este y producir el aumento lento del contenido de Cu. Como consecuencia se puede calcular el contenido medio aproximado de un metal (Ni y Cu por ejemplo) en una mena derivada de determinada roca ígnea conociendo aproximadamente el coeficiente de reparto de este metal en este

magma y el contenido porcentual de este metal en el magma, - obtenido mediante muestreo representativo de la roca ígnea, y usando la formula:

$$K_{\text{metal}} \times \% \text{ metal en magma} = \% \text{ metal en fase sulfurada}$$

También se puede calcular el olivino normativo de un magma (o roca ígnea) conociendo la relación Ni/Cu de su menas, mediante el modelo gráfico descrito en el citado trabajo de Maclean y Shimazaki de 1976.

La interconexión entre la relación Ni/Cu y la basicidad de la roca asociada en diversas minas de tipo Sudbury puede verse en los dos gráficos de la página siguiente en los cuales se han añadido además los valores medios correspondientes a Fornás y Arinteiro para patentizar que la relación Ni/Cu de estas minas se sale completamente del orden de magnitud de la misma relación Ni/Cu en los auténticos yacimientos de Ni - Cu tipo Sudbury.

La similitud de los valores de la relación Ni/Cu en los yacimientos de tipo Sudbury observable en los citados gráficos para cada tipo de litología asociada responde a que los contenidos de Ni y de Cu de cada yacimiento son consecuencia del contenido de estos elementos en el magma asociado a cada yacimiento, y del coeficiente de reparto del Ni y del Cu entre la fase sulfurada y silicatada de cada magma.

La disparidad manifiesta de los valores de la relación Ni/Cu de Fornás y Arinteiro en contraste con los yacimientos de tipo Sudbury adjuntos, indica bien a las claras -

CONTENIDOS DE Ni - Cu Y PRINCIPALES ROCAS ASOCIADAS EN ALGUNOS YACIMIENTOS IMPORTANTES DEL TIPO SUDBURY (Extraído de - Stanton - 1972).-

| Deposit | Ni% | Cu% | Ni/Cu | Principal host |
|---|------|------|--------|----------------------|
| Sudbury, Ontario | 1.62 | 1.29 | 1.3:1 | Mafic-noritic |
| Gondon Lake, Ontario | 1.4 | 0.6 | 2.3:1 | Ultramafic |
| Marbridge, Quebec | 2.3 | | | Ultramafic |
| Lorraine, Quebec | 0.6 | 1.6 | 0.4:1 | Mafic |
| Ungava, Quebec | 1.8 | 0.7 | 2.6:1 | Ultramafic |
| Lynn Lake, Manitoba | | | | |
| "A plug" | 1.2 | 0.6 | 2:1 | Mafic-noritic |
| "El plug" | 4.5 | 1.5 | 3:1 | Mafic-noritic |
| Moak Lake-Setting Lake (Thornpson mine), Manitoba | 1.9 | 0.13 | 14.6:1 | Ultramafic |
| Bird River, Manitoba | 1.0 | 0.3 | 1:3 | Mafic to ultramafic |
| Hope, British Columbia | 0.8 | 0.3 | 2.7:1 | Ultramafic |
| Yakobi, Alaska | 0.3 | 0.2 | 1.5:1 | Mafic-noritic |
| Kambalda (Lunnon), W. Aust. | 5.9 | 0.5 | 11.8:1 | Ultramafic to mafic. |
| Noril'sk, Siberia | 0.4 | 1.0 | 0.4:1 | Mafic |
| Kotalahti, Finland | 0.8 | 0.3 | 3.8:1 | ?Ultramafic |
| Petsamo, N.W. Russia | 3.8 | 1.8 | 2.1:1 | Ultramafic |

| | | | | |
|--|------|------|--------|-------------|
| - Arinteiro.Muestra 11.508 (Mena) | 0.01 | 0,37 | 0.03:1 | Anfibolitas |
| - Arinteiro.Muestra 11.514 (Mena) | 0.01 | 1.94 | 0.00:1 | Anfibolitas |
| - Arinteiro.Valores medios de Ni y Cu del yacimiento * | 0.01 | 0.74 | 0.01:1 | Anfibolitas |
| - Fornás.Muestra - 11.520 (Mena) | 0.01 | 3.02 | 0.00:1 | Anfibolitas |
| - Fornás.Muestra - 11.525 (Mena) | 0.01 | 0.71 | 0.01:1 | Anfibolitas |
| - Fornás.Valores medios de Ni y Cu - del yacimiento * | 0.01 | 1,3 | 0.01:1 | Anfibolitas |

* Como valores medios de Ni en el yacimiento, y a falta de datos más concretos, se ha tomado el de 0,01, constante en todas las muestras de mena analizadas en el curso del presente estudio tanto en Fornás como en Arinteiro.

FIGURA Nº 8

que no ha sido el mecanismo de diferenciación magmática en fases inmiscibles, ni el coeficiente de reparto entre dichas fases inmiscibles del magma básico, los mecanismos que han regido la génesis de las mineralizaciones del Area de Santiago.

Así pues tenemos que concluir que el medio básico - del área de Santiago, así como la alta temperatura de formación de sus yacimientos de Cu, les hacen miméticos de los típicos yacimientos de Ni - Cu asociados a rocas básicas en un buen número de caracteres, y particularmente parecidos a aquellos criaderos de Ni - Cu que han sufrido metamorfismos de grado alto o medio originando fases litológicas de reacción entre los sulfuros y las metabasitas que los sostienen. La similitud resultante es pues un fenómeno de convergencia que oculta procesos genéticos muy dispares.

9.2.3.- Yacimientos de calcopirita-cuarzo hidrotermales y neumatolíticos (generalmente relacionados con plutonismo)

No vamos ahora a explicar cuales son las características de un criadero de tipo hidrotermal. Vamos sólo a destacar que fenómenos se observan en Fornás y en Arinteiro que apoyen o se opongan a este tipo de genesis.

Arinteiro

Ningún fenómeno ni paragenesis de los observados en Arinteiro reclaman necesariamente un hidrotermalismo en sentido estricto. La genesis de Arinteiro podría ser perfectamente singenética y los ensamblajes megacristalinos cuyos

minerales más abundantes son cuarzo, anfíbol, granate, podrían generarse por reacción metamórfica entre los sulfuros y la roca silicatada preexistente como ocurre en otros depósitos sin genéticos metamorfizados como es el caso de Pikwe, descrito en 9.2.3.C. Sin embargo el metamorfismo tardío que ha producido la removilización de la mena y los minerales silicatados - que la acompañan ofrece indicaciones claras de una considerable presión de volátiles como lo demuestra la presencia de minerales hidratados como la biotita (probablemente hidrobiotita) y la presencia de aureolas externas anisotropas en el granate (ver lámina 11.508).

No obstante no puede negarse la posibilidad de que - tanto los volátiles como la alúmina, el cuarzo, los sulfuros, etc. puedan haberse introducido en la roca mediante un metasomatismo de tipo hidrotermal o neumatolítico que generaría los ensamblajes miméticos de skarn que constituyen el nivel mineralizado. Esto, que es teóricamente posible no está demostrado y resulta más complicado que la suposición de un yacimiento singenético metamorfizado como se ha discutido en 7.3.6.

Fornás

Resulta claro en Fornás que se trata de un depósito de sulfuros masivos (o semimasivos) ligado a una fractura, - puesto que la mineralización, cuando se hace semimasiva está ligada a auténticas milonitas (ver los sondeos Fornás 14 y - Gemma 1 en los planos nº 19 y nº 20).

Por otro lado resulta claro también que en el material filoniano compuesto por las siguientes paragénesis:

- 1ª.- Estauroлита - gedrita alúminica
- 2ª.- Pargasita - hidrobiotita
- 3ª.- Hercinita - espinela - plagioclasa ($A_{n21}-A_{n33}$)
- 4ª.- Sulfuros - clorita - cuarzo.

la ganga es incompatible como derivada de las metabasitas circundantes por el alto contenido de alúmina que contiene. Así pues teniendo presente que los sulfuros y el cuarzo son tardíos y que incluso las espinelas son tardías respecto a otras paragénesis resulta lógico que más que pensar que la fase silicatada ha sido arrastrada englobada en una masa plástica de sulfuros, hemos de abogar por una génesis de tipo probablemente neumatolítico para las primeras paragénesis (que da minerales más propios de pegmatitas) y posiblemente hidrotermal - para la fase postuma cuarzo sulfurada, ya que la espinela implica un medio pobre en sílice y no sería compatible con la fase cuarzo sulfurada.

Otra cuestión distinta es la discusión sobre el lugar de origen de las mineralizaciones. Evidentemente su composición alúminica obliga a considerarlos derivados de niveles pelíticos (ver 7.3.6. y Cap.8)

9.2.4.- Yacimientos piritosos asociados a complejos volcánicos o vulcano - sedimentarios

Después de todo lo dicho en 9.2.3. sobre la génesis de Fornás no podemos en buena lógica volver a tratar aquí de este yacimiento, así que vamos a referirnos exclusivamente sobre Arinteiro.

Ya se expusieron en 7.3.6. las consideraciones genéticas del yacimiento de Arinteiro en función de los hechos que se manifiestan en el propio yacimiento, abogando por la propabilidad de una génesis singenética de tipo vulcano-sedimentario (aunque sin excluir por completo la posibilidad de una génesis mimética de skarn) por lo cual aquí vamos a pasar por alto la repetición de la lista de hechos observados y de deducciones extraídas de ellos, y en todo caso remitimos al lector al citado apartado 7.3.6.

Nos hallamos ante una eventual formación vulcano-sedimentaria precámbrica con cinco fases metamórficas, una de las cuales por lo menos es de facies granulítica, y otra de las cuales comprende amplias áreas con procesos de migmatización; y que se ve afectada por siete fases de plegamiento, cuatro de las cuales dan esquistosidades penetrativas. Tratar de correlacionar en detalle este yacimiento con otros yacimientos del mismo origen es muy problemático. A pesar de ello no vamos a excluir una alusión, entre otros, a los conocidos depósitos de Chipre (asociados al contacto entre lavas basálticas y rocas típicamente sedimentarias y descritos entre otros por Stanton 1972, A.E. Johnson - 1972, M. Solom 1976, etc).

Así pues tras la lectura de una amplia serie de ejemplos bibliográficos de depósitos de tipo vulcano-sedimentario, sólo podemos remarcar en apoyo de este tipo de génesis para Arinteiro lo ya sabido de que este tipo de depósitos ocurren generalmente en un nivel sedimentario "normal", como un nivel de pizarras, (en que Arinteiro estaría representado por el nivel aluminico) no lejos del contacto con una formación piroclástica o una lava; y sólo algunas veces dentro de la propia

formación volcánica. Por otro lado en el mayor número de los casos la roca volcánica asociada es piroclástica y solo en algunos lávica (en Arinteiro esto es indefinible por efecto de los metamorfismos) y su quimismo oscila desde el riolítico - hasta el basáltico o basaltico - picritico de Chipre.

**10 - RESERVAS CONOCIDAS Y POTENCIALIDAD DE
ESTE SECTOR METALOGENICO**

10.- RESERVAS CONOCIDAS Y POTENCIALIDAD DE ESTE SECTOR METALOGENICO

10.1.- POTENCIALIDAD DE ESTE SECTOR METALOGENETICO

Ya hemos señalado anteriormente que los yacimientos de Cu más o menos importantes de Galicia se localizan sobre los complejos de rocas básicas-ultrabásicas, y de forma particular en las anfibolitas de las proximidades de Santiago (si exceptuamos la zona vulcanosedimentaria del silúrico de Moeche, cerca del Cabo Ortegal). Esto, aún prescindiendo de todo lo dicho hasta ahora en este informe, implica si no necesariamente una relación genética directa de los yacimientos a partir de los complejos básico-ultrabásicos, por lo menos un efecto de trampa o de roca almacén de las rocas básicas con respecto a las mineralizaciones que hubieran podido emanar de otras litologías, lo cual condiciona de hecho a dichos complejos básicos - ultrabásicos como formaciones de interés potencial preferente a la hora de programar una campaña primaria de selección de zonas a investigar.

10.2.- RESERVAS CONOCIDAS

Ciñendonos pues en las reservas conocidas y preparadas para explotación hemos confeccionado el siguiente cuadro resumen:

| YACIMIENTO | Reservas minerales | Ley | Tipo de Mena | Observaciones |
|------------|--------------------|------|---|----------------------------|
| Bama | 10.174.000 Tm. | 0,6% | Pirrot. Calcopirit diseminadas | Terminada la investigación |
| Arinteiro | 9.350.000 Tm. | 0,7% | Pirrot. Calcopirit diseminadas | En producción |
| Fornás | 640.250 Tm. | 1,3% | Pirrot. masiva con calcopirita diseminada. | En producción |
| Gema | 200.000 Tm. | 1% | Pirrotina masiva con calcopirita diseminada | Terminada la investigación |

Además de estos yacimientos existen otros de mucho menor tamaño que por esta razón resultan antieconómicos. De entre ellos podemos citar Gamás, La Mañoca, etc.

Es interesante destacar que del concentrado de sulfuros de Fornás-Arinteiro se han recuperado en el año 1976 además del cobre, 25 Kg. de oro, que representan una ley de 0,01 gr/Tm del todo uno.

11 · METODOLOGIA DE PROSPECCION

11.- METODOLOGIA DE PROSPECCION

Si existen características físicas comunes entre todos los yacimientos de los tipos Arinteiro y Fornás son precisamente la tendencia a una amplia gama de variación entre los límites de lo masivo a lo diseminado, y una asociación de minerales metálicos caracterizada por pirrotina (preponderante en los depósitos masivos) y calcopirita, acompañados de pequeñas cantidades de pirita y esfalerita. Estos son los caracteres fundamentales que condicionan la metodología de prospección utilizable y que vamos a discutir a continuación.

11.1.- FASE PROSPECTIVA DE SELECCION DE ZONAS

11.1.1.- Análisis documental

Consideramos que una de las tareas más importantes que puede hacerse bajo este título es el inventario de indicios y pequeñas concesiones de toda la zona potencialmente interesante (en principio los complejos básicos-ultrabásicos del N.O de España. Logicamente este inventario debe completarse con un reconocimiento y evaluación de los indicios correspondientes.

11.1.2.- Vuelos electromagnéticos y magnéticos

Resulta evidente que mineralizaciones frecuentemente masivas, en las cuales la pirrotina es un mineral fundamental pueden ser investigados por medio de vuelos especiales para medir las anomalías del campo magnético y electromagnético al objeto de selección de zonas de interés.

R.T.P. usó con éxito esta técnica en los alrededores de Santiago. En el mapa de anomalías se destacan claramente las mineralizaciones diseminadas de Bama, Arca, Arinteiro y Cerro de S. Sebastian junto a otras diversas anomalías menores. Sin embargo no hubo resultados positivos en la zona de yacimientos de pirrotina masiva con calcopirita (Fornás-Gema-Gamás). Esta irregularidad se atribuyó a interferencias debidas al emisor de R.T.V.E. situado varios kilometros al W. de la zona de los yacimientos.

Al final del informe puede verse el plano nº 8 que representa un fragmento del extenso mapa de anomalías del servicio aereo de magnetometría y electromagnetometría de la zona, y que se refiere precisamente a la zona de Arinteiro, Bama, Arca y Cerro de S. Sebastian.

11.1.3.- Geoquímica de arrastres fluviales

Con el inventario y reconocimiento de indicios y con un vuelo magnético-electromagnético, la geoquímica de arroyos de grandes areas, constituye un apoyo fundamental en la selección de zonas de interés.

La utilidad de tal técnica, teóricamente garantizable a priori en ambientes como los del N.O. de España, fue prácticamente demostrada con la campaña modelo efectuada por nosotros en el macizo metabásico de Santiago (zona de los yacimientos de Fornás - Gema - Gamás).

R.T.P. no llegó a usar esta técnica pasando directamente a la ejecución de geoquímica de suelos en todo el macizo metabásico de Santiago, ya que fueron las metabásitas las zo-

nas que R.T.P. consideró de interés prioritario. Sin embargo el uso de la geoquímica de Arroyos en aproximadamente la misma zona donde R.T.P. efectuó su campaña de suelos demuestra - con resultados positivos que las áreas de interés obtenidas coinciden con ambas técnicas y que por lo tanto el empleo de la geoquímica de suelos sólo en las áreas previamente seleccionadas por una campaña de arroyos puede ahorrar considerables cantidades de tiempo y dinero, sobre todo en campañas muy extensas.

A) Recogida y tratamiento de muestras

El área muestreada comprende aproximadamente unos - 35 Km² que corresponden a una foto aérea (del vuelo a escala 1:33.000) en cuya zona central se localizan los yacimientos - de sulfuros masivos de Fornás - Gema y Gamás.

El número total de muestras recogidas fué de 76, lo que representa una densidad media de 1,3 muestras por Km². Sin embargo conviene decir en honor a la verdad, que esta cifra - no fué una premisa, sino que el muestreo se programó sin prejuicios sobre la red hidrográfica de la fotografía aérea - - tratando de cubrir todas las confluencias fluviales, y procurando que la distancia entre nuestras consecutivas del mismo arroyo no fuera nunca superior a 500-600 m. Es evidente que - para un estudio de tipo experimental hubiera sido mejor un - muestreo algo más denso pero condicionamientos de tipo presupuestario no lo hacían aconsejable. Tal posible deficiencia tratamos de compensarla haciendo algo más denso el muestreo - de los alrededores de la mina de Fornás a costa de diluir ligeramente el muestreo del resto de la zona.

Las muestras se tomaron, salvo en un sólo caso, en cauces fluyentes; sin embargo las casi continuas desviaciones del exiguo caudal por canalillos a media ladera con fines de regadio, pueden hacer discutible a priori la fidedignidad de algunas muestras, sobre todo si se tiene en cuenta que en algunas zonas los canalillos de riego pueden constituir auténticos transvases de un valle a otro, sin que por otro lado el fenómeno sea fácilmente detectable siempre.

Cada muestra se recogió en diversas tomas de arrastres finos y semifinos del fondo del cauce a lo largo de varios metros de este, al objeto de evitar en lo posible valores aberrantes de origen diverso. Posteriormente se envasaron en bolsas de plástico convenientemente rotuladas y fueron mandadas al laboratorio.

Ya en el laboratorio, las muestras (tras ser tamizadas a 100 micras y despreciada la fracción grosera) sufrieron digestión en ácido nítrico a 130° C durante 12 horas tras lo cual y previa dilución en agua destilada, pasarón al análisis propiamente dicho de su contenido en Cu, Zn, Co, Ni y As mediante técnicas de absorción atómica.

El cálculo del umbral de anomalía se efectuó estadísticamente mediante el sistema de Tennant y White en el cual se calculan los valores en p.p.m. equivalente a una, dos y tres desviaciones standard respecto a la media aritmética sobre una curva signoidal construida a partir de los valores de frecuencias porcentuales acumuladas obtenidos de un histograma de frecuencias previamente elaborado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

| | Cu | Zn | Co | Ni | As |
|--------------|-----|-----|----|-----|----|
| \bar{x} | 50 | 117 | 45 | 134 | 3 |
| $\bar{x}+s$ | 93 | 185 | 55 | 160 | 10 |
| $\bar{x}+2s$ | 130 | 258 | 80 | 170 | 17 |

Aunque en general se toma el valor en p.p.m. correspondiente a $\bar{x} + 2s$ como umbral de anomalía, la práctica nos demuestra aquí que los valores superiores a $\bar{x} + s$ (que generalmente se consideran sólo como posibles anomalías) reflejan anomalías auténticas y ayudan mucho a perfilar con más exactitud el contorno del área anómala.

B) Resultados obtenidos

Los resultados, que pueden verse en el plano de la página 125 y contrastarse con los de la geoquímica de suelos de R.T.P. que figuran con el nº 9 en el anexo de planos, indican, como ya dijimos antes, que la geoquímica de arroyos resulta absolutamente válida para seleccionar áreas de interés en los que realizar etapas más avanzadas de prospección.

Los elementos que mejor reflejan las zonas mineralizadas son el cobre y el zinc; y de entre ambos quizá el zinc da un reflejo más exacto de la situación al contrarrestarse su escasez en la mena con su alta movilidad. El cobalto, aunque aparece en nuestro mapa como un elemento distal con respecto al foco de dispersión de la anomalía resulta eficaz como elemento complementario. El níquel parece de mucha menor fiabilidad, y junto con el arsénico se halla sólo en alguna zona anómala particular, pero no en el resto.

El comportamiento lógico de cada uno de estos elementos en geoquímica es consecuente con lo que cabía esperar a la luz de los análisis químicos de la mena.

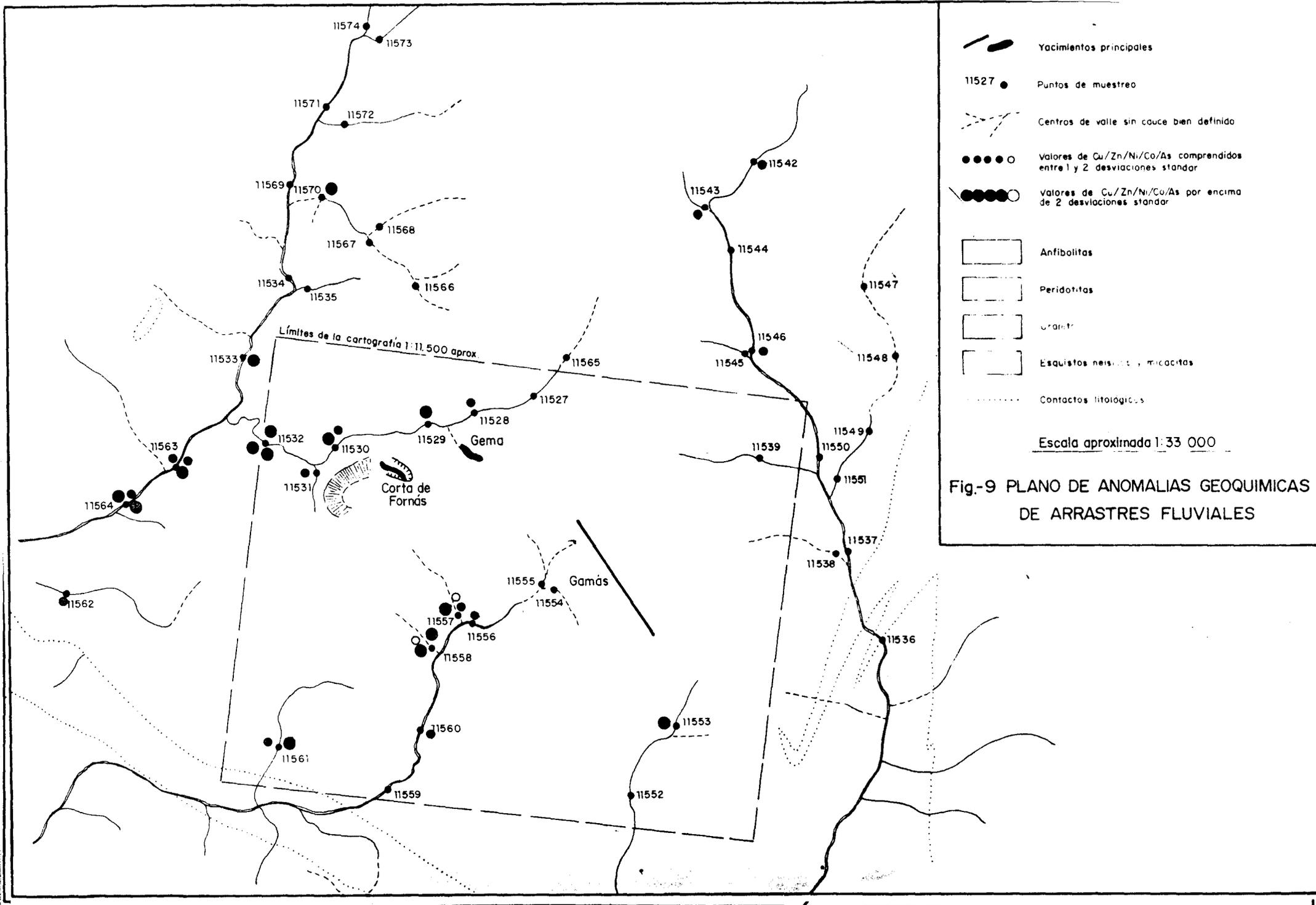


Fig.-10

-  Anfibolitas
-  Peridotitas
-  Granito
-  Esquistos neísicos y micacitas

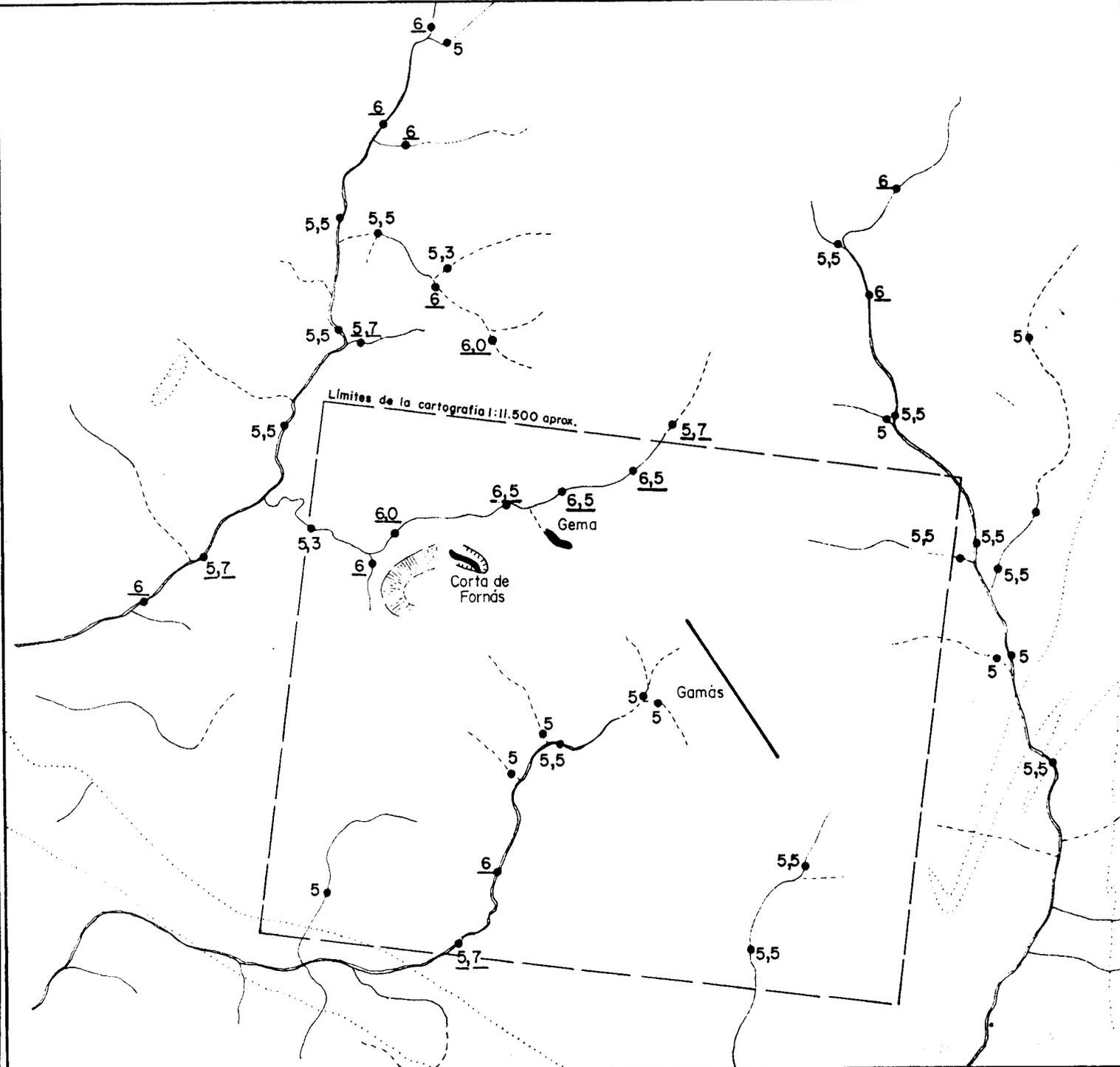
 Contactos litológicos

ph < 6 : 5,3

ph ≥ 6 : 6,2

Escala aproximada 1:33.000

VARIACION DEL ph EN LOS PUNTOS DE MUESTREO GEOQUIMICO DE ARRASTRES FLUVIALES (ver fig nº 9)



A partir de la geoquímica propiamente dicha, en cada punto de muestreo se efectuó una medición del pH. del agua del arroyo con papel indicador. Los resultados, que se exponen en el plano de la página 126 nos muestran que ninguna medición dio valores inferiores a 5, ni alcanzo tampoco el valor neutro (7). Por otro lado, y dentro de los límites de precisión que permite el método, parece claro que las anomalías se localizan precisamente en zonas de pH con valores superiores a 6, mientras las zonas normales tienen valores comprendidos entre 5 y 6.

11.1.4.- Geoquímica de sedimentos fluviales con Batea. Mineralometría

Partiendo de la base de que este es un ensayo de metodologías y una discusión de sus ventajas y desventajas para esta concreta tipología de yacimiento, se consideró interesante un pequeño chequeo mineralométrico al objeto de reconocer la eventual presencia de minerales pasados de interés económico, y estudiar su posible utilidad como método indirecto basado en asociaciones silicatadas que pudieran estar asociadas a las mineralizaciones de interés económico.

Resulta evidente que la presencia de fragmentos de granates grandes en la batea podrían indicar la presencia de formaciones (quizá no aflorantes bajo potentes suelos) semejantes a las pegmatitoides mineralizadas de Arinteiro. Sin embargo y ante la imposibilidad, por condicionamientos presupuestarios, de efectuar estudios mineralométricos en Fornás y en Arinteiro, se efectuaron solamente en Fornás puesto que allí -

no se veían relaciones claras entre las rocas de caja y las mineralizaciones, y de esta manera a la par que comprobamos eficacia o ineficacia de la batea para zonas semejantes, colaborabamos al estudio de las posibles relaciones entre la mineralización y las rocas de caja.

R.T.P. no ha realizado hasta la fecha estudios mineralométricos en esta zona por razones evidentes dado que sus objetivos les aconsejaban técnicas más directas para estos tipos de yacimientos, lo cual no es igual válido para nosotros puesto que en este caso no buscamos minas sino que discutimos las posibilidades y campos de aplicación de cada tipo de prospección para una tipología de yacimientos dada.

A) Recogida y tratamiento de muestras

El área muestreada comprende en principio la misma zona (35 Km²) muestreada para la geoquímica normal de arrastres fluviales descrita en 11.1.3.A.

El número total de muestras recogidas fue de 22 lo que representa una densidad media de 0,6 muestras por kilómetro cuadrado; programándose el muestreo en orden a cubrir lo mejor posible todas las cuencas, pero aumentando un poco la densidad del muestreo en los cauces próximos a la mina de Fornás.

Las muestras se tomaron siempre en cauces fluviales. El peso total de las muestras (10 Kg) se recogió del fondo de la zona central del cauce en varias tomas a lo largo de varios metros para evitar resultados aberrantes de origen diverso.

Posteriormente la muestra era tamizada despreciándose a priori los tamaños superiores a 1,5 cm., lavada de arcillas, y pre concentrada en palanganas normales y afinada en bateas de fibra de vidrio de la clásica forma de gorro chino, hasta obtener un concentrado de un peso aproximado del orden de 100 a 200 gr. como norma.

El tratamiento de la muestra y consiguiente estudio de los minerales de densidad superior a 2,89 se efectuó según el siguiente proceso:

- a) Separación densimétrica con bromoformo.
- b) Secado de la fracción pesada.
- c) Pesaje " " " "
- d) Separación magnética.
- e) Pesaje de la fracción magnética y de la no magnética.
- f) Conteo de minerales con lupa binocular de cada una de las dos fracciones.
- g) Estudio de fluorescencia con lámpara de rayos ultravioleta en el concentrado no magnético.

B) Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos y que se hallan en los cuadros de las páginas siguientes muestran los siguientes puntos destacables.

- a) La mayor parte del concentrado de batea está formado por anfíbol.
- b) La distribución del granate y minerales de titanio abarca

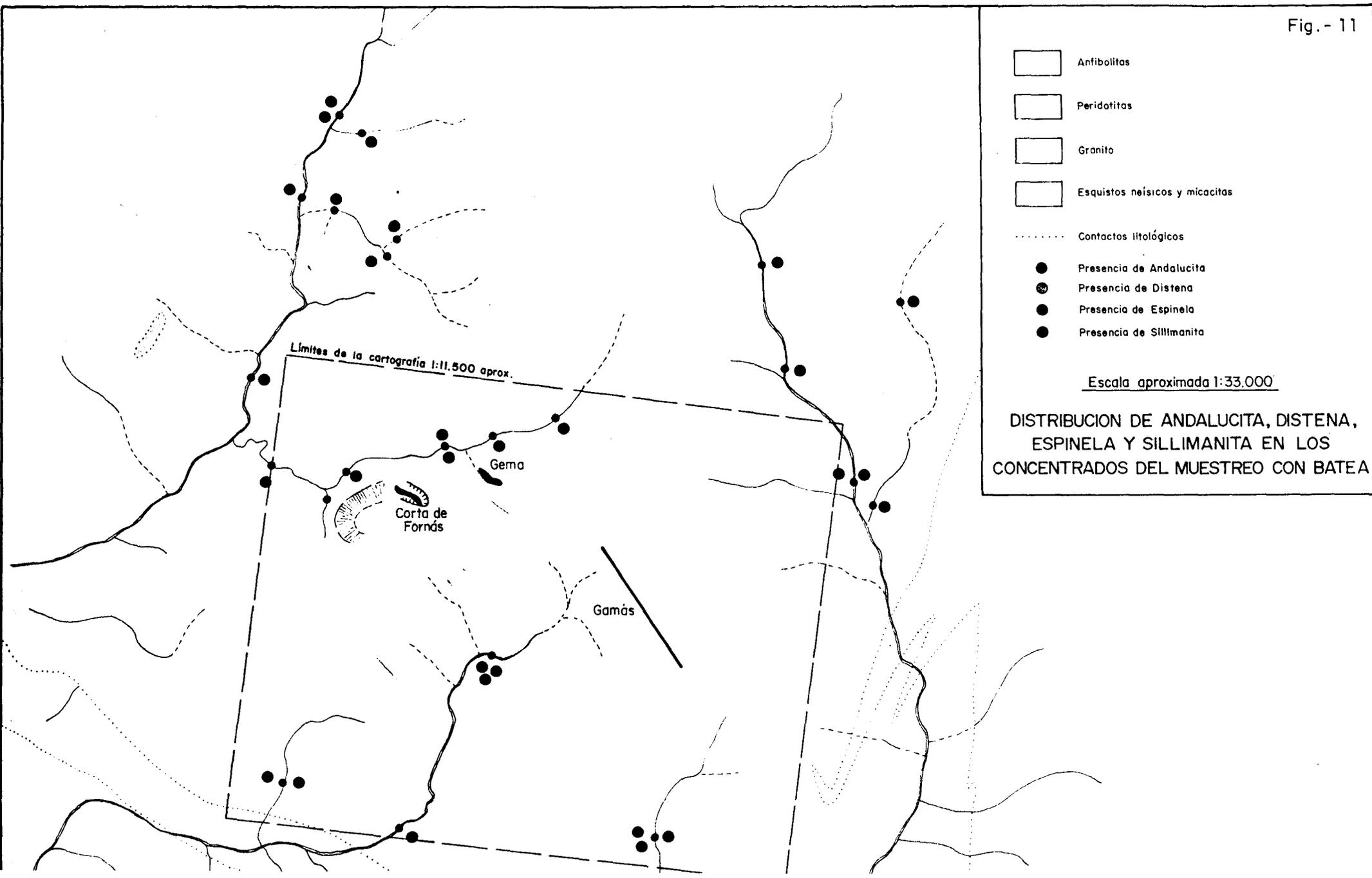
la casi totalidad de las muestras tomadas; ocurriendo poco menos con la epidota.

- c) La distena se halla presente en 19 de las 22 muestras recogidas. Teniendo en cuenta que se evitó deliberadamente el muestreo de aquellos arroyos que pudieran arrastrar material proveniente de las metapelitas que rodean el macizo anfibolítico de Santiago, es necesario concluir que dentro de este macizo existen niveles ricos en alúmina que podrían corresponder a litologías de tipo esquisto pelítico o neis meteorizados, y con afloramientos escasos y malos, puesto que no se les ha visto nunca. Otra posibilidad es que esta distena se halle como relicto de ciertos tipos de granulita. Ninguna de las posibilidades apuntadas nos parece fácil; lo que parece bastante más verosímil es que dentro del conjunto esencialmente ortoanfibolítico existan niveles de para-anfibolitas difícilmente detectables en el campo, y que podrían tener su origen en pelitas aluminicas.

La relativa extensión de la distena, a pesar de no haberse visto en ninguna de las 35 láminas delgadas realizadas sobre unos 12 Km^2 del macizo de Fornás puede deberse a ser un mineral muy resistente, con tendencia a formar concentraciones residuales de tipo placer.

- d) Andalucita, sillimanita, y espinela se hallan también presentes en algunas muestras. La situación de estas muestras (junto a las que contienen distena) se ofrece en el mapa de la pag. 131. En él puede verse la omnispresencia de la distena, y notarse la restringida distribución de la andalucita, sillimanita, y espinela. El pequeño número de muestras tomadas no permite sacar conclusiones fiables respecto a esta distribución, sin embargo, y con respecto a la andaluci-

Fig.- 11



ta por lo menos parece haber una clara tendencia a localizarse en las zonas con mineralizaciones de sulfuros y anomalías geoquímicas.

- e) La estauroлита, que aparecida como mineral de ganga en las masas de pirrotina de Fornás, no se señala en ninguna de las 22 muestras recogidas y estudiadas.
- f) De todos los puntos anteriores se deduce que la utilidad prospectiva de la batea en esta tipología de yacimientos es mínima o nula, y que en todo caso su discutible eficacia podría estar en el apoyo de una geoquímica convencional de arroyos permitiendo el contraste de las anomalías convencionales con la presencia o ausencia de ciertos minerales ricos en alúmina.

11.2.- FASE PROSPECTIVA SOBRE ZONAS PRESELECCIONADAS

11.2.1.- Geología detallada

En principio el conocimiento detallado de la geología local de un área de interés resulta siempre necesario en prospección minera; sin embargo el interés y la efectividad concretos que pueda tener en cada caso estará en función de la naturaleza del propio caso particular. Así por ejemplo la geología estructural detallada será de gran interés en zonas en las que la mineralización se halla removilizada y emplazada a lo largo de fracturas de una edad y dirección determinada, o cuando un nivel estratiforme mineralizado se halle intensamente afectado por una tectónica de plegamientos y sobrecorrimientos. La litológica detallada puede ser de utilidad en la prospección de yacimientos del tipo Arinteiro ya que las anfibolitas pegmatoides son probablemente fruto de la reacción metamórfica entre los sulfuros y la roca silicatada que los almacena (ver 9.2.2.C). Cualquier diferenciado anusual en las anfibolitas puede ser tenido en cuenta, pudiendo considerarse factores positivos el contenido en cuarzo y en alúmina relativamente alto, un incremento en el tamaño y cantidad y tipo de los granates, presencia de minerales hidratados como la biotita etc.

Como acabamos de decir las anfibolitas no serian propiamente un metalotecto, sino que deberian catalogarse más justamente como una ganga generada por la reacción metamórfica de los sulfuros y la roca silicatada que los alberga, de contenido anómalo en cuarzo y alúmina y consecuentemente de origen pelítico al menos en parte, e integrante por tanto de

un complejo vulcano - sedimentario metamorfizado. En consecuencia, dichas anfibolitas son un objetivo de interés comparable al de los propios sulfuros.

11.2.2.- Geoquímica de suelos y mediciones de pH

R.T.P. Usó de esta técnica en muy amplias zonas de sus permisos de investigación. En Arinteiro se usó más bien a posteriori dando unos resultados altamente positivos que se ajustan además tanto a la litología como a la geología (vean se los planos nº 9 y 10). Por otro lado R.T.P. prefirió cubrir de geoquímica de suelos todo el macizo anfibolítico de Santiago (Zona de Fornás) sin preselección de áreas mediante geoquímica de arroyos. La parte de este trabajo que circunda los yacimientos de Fornás, Gema y Gamás puede verse en el plano nº 9.

La técnica utilizada por R.T.P. consistía en el muestreo del horizonte C mediante hincas de un tubo metálico hueco, con uno de sus extremos cortado en bisel, y una raja longitudinal que permite hacer salir del tubo el material acumulado con él.

Está demostrado que la geoquímica de suelos mediante muestreo del horizonte C tiene sus ventajas indudables y sus inconvenientes. Entre estos últimos pueden presentarse los de una escasa dispersión de las anomalías a partir de su foco;

la dificultad de saber con exactitud cuando se ha alcanzado la roca firme, y cuando un canto suelto (lo cual puede acarrear notables heterogeneidades en el muestreo); y sobre todo una cierta complejidad, lentitud y aumento de personal en el muestreo.

En nuestro caso consideramos conveniente ensayar y comparar los resultados de un muestreo equivalente en el horizonte B, mediante la realización de un pozuelo de unos 10 a 15 cm. de profundidad como norma general, por medio de una piqueta de geólogo.

Para comprobar las posibles diferencias o similitudes en el horizonte C y un muestreo en el horizonte B se repitió un tramo de perfil de R.T.P. en la zona de Gema, con un total de 20 muestras, de las cuales 6 corresponden a una zona claramente anomala, y 14 a una zona de valores más o menos normales. Vease el mapa nº 9 .

Para hacer más comparables ambos muestreos se usó la foto aérea 1:10.000 de R.T.P. en la que venían indicados con exactitud los puntos de su muestreo, sin que nos sea posible decir en cada muestra si la distancia entre ambos muestreos es de 5 cm. o de 5 m. dado que no ha sido posible reconocer la ubicación exacta del primero.

El tratamiento de las muestras de suelos recogidas por nosotros fué idéntico a las de nuestra propia campaña de arroyos, tanto en lo que se refiere a laboratorios como a tratamiento geoestadístico (ver 11.1.3.). Evidentemente el tratamiento estadístico de 20 valores, es en principio de valor dis

cutible; sin embargo los resultados son absolutamente lógicos. Las muestras del horizonte "B" dan menos valores anómalos relativamente altos, pero dan más valores anómalos relativamente bajos, y por lo tanto una anomalía global ligeramente más extensa, pero igualmente válida y útil (véase el mapa nº 9)

Las muestras fueron analizadas para Cu, Zn, Co, Ni y As.

Dado el exiguo número de muestras estudiadas sólo se han podido extraer conclusiones del comportamiento de los elementos Cu y Zn, el cual resulta absolutamente normal y dibuja perfectamente la anomalía previa de R.T.P. Los restantes elementos no dan más que una sola población normal y los escasos valores situados por encima del umbral no se ajustan a las anomalías de Cu y Zn.

A parte de la geoquímica de suelos propiamente dicha, se efectuó en el laboratorio de la Universidad de Salamanca, la medición sistemática del pH del suelo que constituye cada muestra.

Los resultados, que se exponen en el anexo nº 7 - muestran que sólo dos muestras alcanzan valores de 6, 0 y ninguna llega a valores inferiores a 4, 2. Sin embargo, y aunque es difícil sacar más conclusiones, la zona de anomalías de Cu y Zn se caracteriza precisamente por una peculiar concentración de valores superiores a 5, 0 (solo una de estas 6 muestras tiene un valor más bajo, igual a 4, 7).

11.2.3.- Estudios metalogénicos

Evidentemente los estudios metalogénicos en sentido estricto, sirven más para estudiar las características de una mineralización o de un yacimiento que como método de prospección de yacimientos de tipología ya conocida, al menos en líneas generales. Su importancia y utilidad en prospección es - pues relativamente secundaria y en cualquier caso dependerá de los problemas concretos que puedan surgir sobre la marcha de la propia investigación.

11.2.4.- Técnicas geofísicas magnetométricas

Dado que los criaderos de tipo Fornás son de pirrotina masiva (con diseminación de calcopirita, pirita y esfalerita) y que los yacimientos de tipo Arinteiro son diseminaciones de pirrotina - calcopirita con cantidades menores de pirita y esfalerita en ganga silicatada, resulta evidente que la magnetometría no solo resulta ser una de las técnicas de prospección más eficaces, sino también la más barata.

Por supuesto que como el mineral magnético (pirrotina) no es el mineral de interés económico (calcopirita), ni los depósitos de pirrotina masiva tienen que tener necesariamente más ley de Cu que los criaderos diseminados, por lo tanto las anomalías magnetométricas tienen que valorarse con sumo cuidado y considerarse realmente como un método indirecto más.

Los resultados prácticos de las magnetometrías realizadas por R.T.P. en las zonas de Fornás y Arinteiro han sido siempre positivos, y los mapas de isogamas resultan tan expre-

sivos que no necesitan comentarios, particularmente en el caso de Arinteiro, donde por tratarse de un cuerpo mineralizado estratiforme, se pueden comparar perfectamente los mapas de la componente vertical del campo magnetico y de la componente vertical del campo magnetico residual, con el mapa geológico de la misma zona y observar la concordancia existente entre ambos estudios. (Vease el mapa 11 correspondiente a Fornás, y los mapas 12 y 13 correspondientes a la magnetometría de Arinteiro).

11.2.5.- Técnicas geofísicas electromagnéticas

Que un conductor masivo o semimasivo como las masas piritosas de Fornás - Gema - Gamás - La Mañoca, etc. responda bien a los metodos electromagneticos no solo es comprensible sino prácticamente obligado. Los resultados altamente positivos obtenidos en los citados yacimientos son además tan claros que con solo ver los planos numeros 14, 15 y 16 huelgan todos los comentarios. Los citados planos se refieren a los metodos electromagnéticos Turam, y G.U.N. Real Alta.

Mención a parte merece el caso de Arinteiro puesto - que se trata de una mineralización diseminada cuya respuesta a priori seria algo discutible sino se hubiera dicho en 7.2.1.C. que se trata de una diseminación fisural en su mayor parte, localizada sobre discontinuidades de tipo craquelar y que engendra estructuras de tipo net-work; por lo cual es precisamente esta intercomunicación en forma de red lo que realmente posibilita una buena respuesta de este yacimiento a la prospección - por técnicas electromagnéticas. Para ilustrar estas respuestas ofrecemos el mapa del estudio electromagnético G.U.N. Real Alta de Arinteiro (plano nº 17), y un perfil de Sharpe S.E.-200 (plano nº 18) realizado sobre la misma zona. En el primero de

los dos planos puede observarse un claro paralelismo entre los resultados de esta técnica geofísica y la geología local indicada en el mismo mapa.

11.2.6.- Técnicas geofísicas eléctricas y polarización inducida

Si bien los depositos de tipo Fornás son mineralizaciones masivas ligadas a fracturas, no es menos cierto que los limites externos de las masas incluyen zonas de tipo milonítico cataclástico o esquistosado, con mineralizaciones auténticamente diseminadas. Estas zonas periféricas de diseminación pueden en algunos puntos tener un desarrollo muy importante como se ha visto por ejemplo en los sondeos de los yacimientos de Fornás y sobre todo de Gemma (ver planos nº 19 y nº 20 correspondientes a los sondeos Fornás nº 14 y Gemma nº 1).

R.T.P. vió tan sobradamente eficaces las técnicas magnetométricas y electromagnéticas en esta zona que no llegó a usar las técnicas eléctricas. Sólo a titulo experimental y más bien a posteriori uso la combinación de polarización inducida y resistividad en el área de Arinteiro, deposito este que si es diseminado fisural con estructuras de tipo net-work, presenta suficientes granos aislados para dar respuestas positivas de P.I. Como ejemplo de resultados positivos pueden observarse en las páginas siguientes dos perfiles mixtos de resistividad - polarización inducida de la zona de Arinteiro, efectuados en 1967 por GEOTECNICA, S.A. para R.T.P.

Dadas las óptimas condiciones de los yacimientos, sobre todos los de tipo masivo (Fornás), no se consideró necesario realizar ensayos prácticos de las técnicas eléctricas

GEOTECNICA, S.A.

AVDA. ALBERTO ALCOCER, 5 MADRID 16

TELEFONO 2503317

METODO DE

POLARIZACION INDUCIDA Y RESISTIVIDAD

TRABAJO N° 6705

SITUACION RRINTEIRO

PERFIL N° U

AZIMUT 90°

PUNTOS FIJOS electrodo 4 en U-25

CONFIGURACION dipolo: diplo 3 y 0,05 c/s.

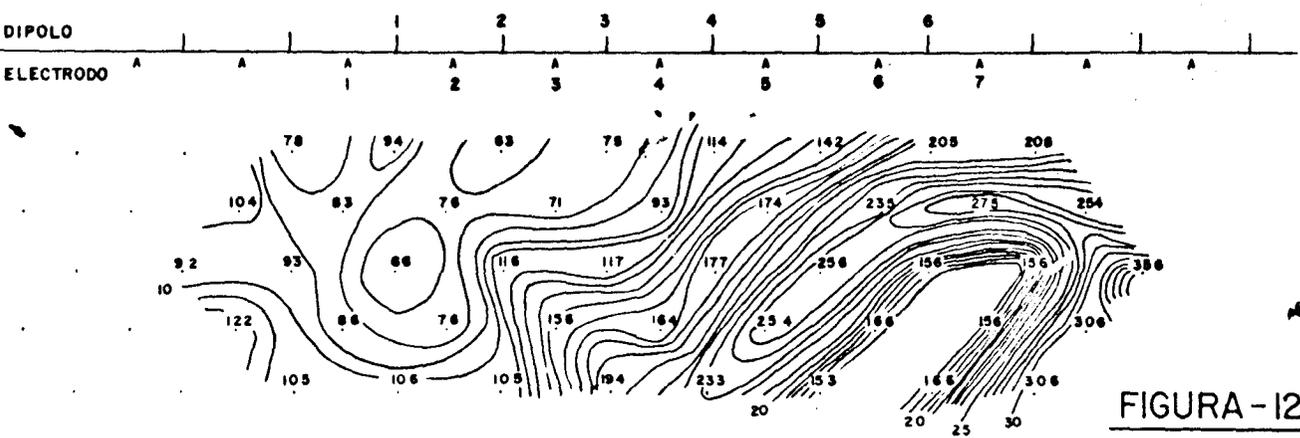
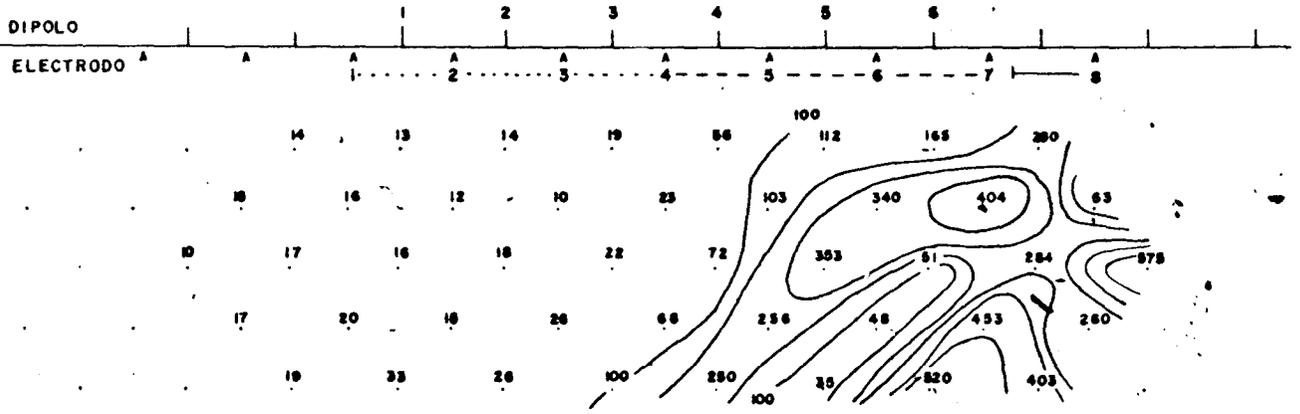
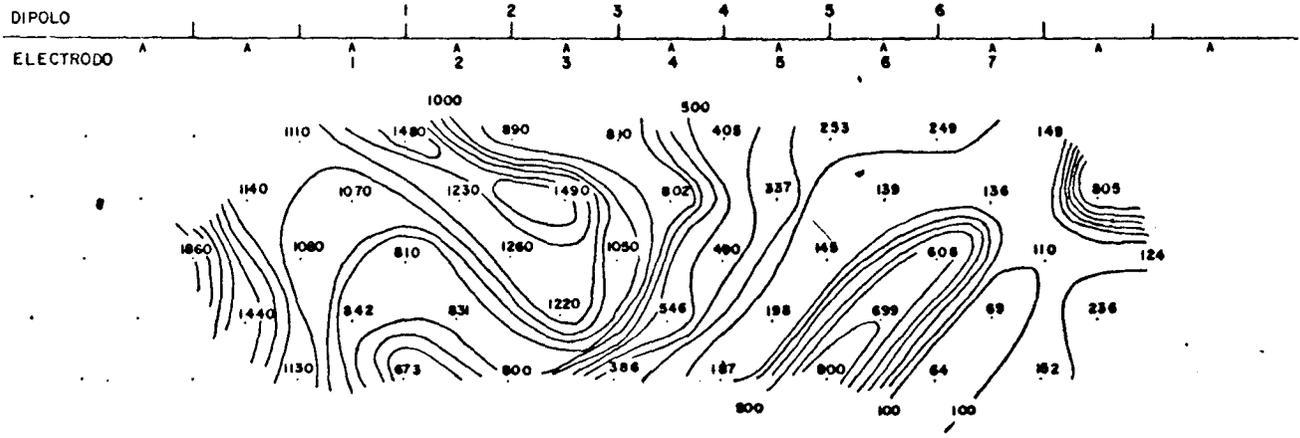
LONGITUD DIPOLO 100 m/s.

OBSERVACIONES:

8.

M.F.

E.F.



FECHA 20-VI-1967

FIRMA

FIGURA-12

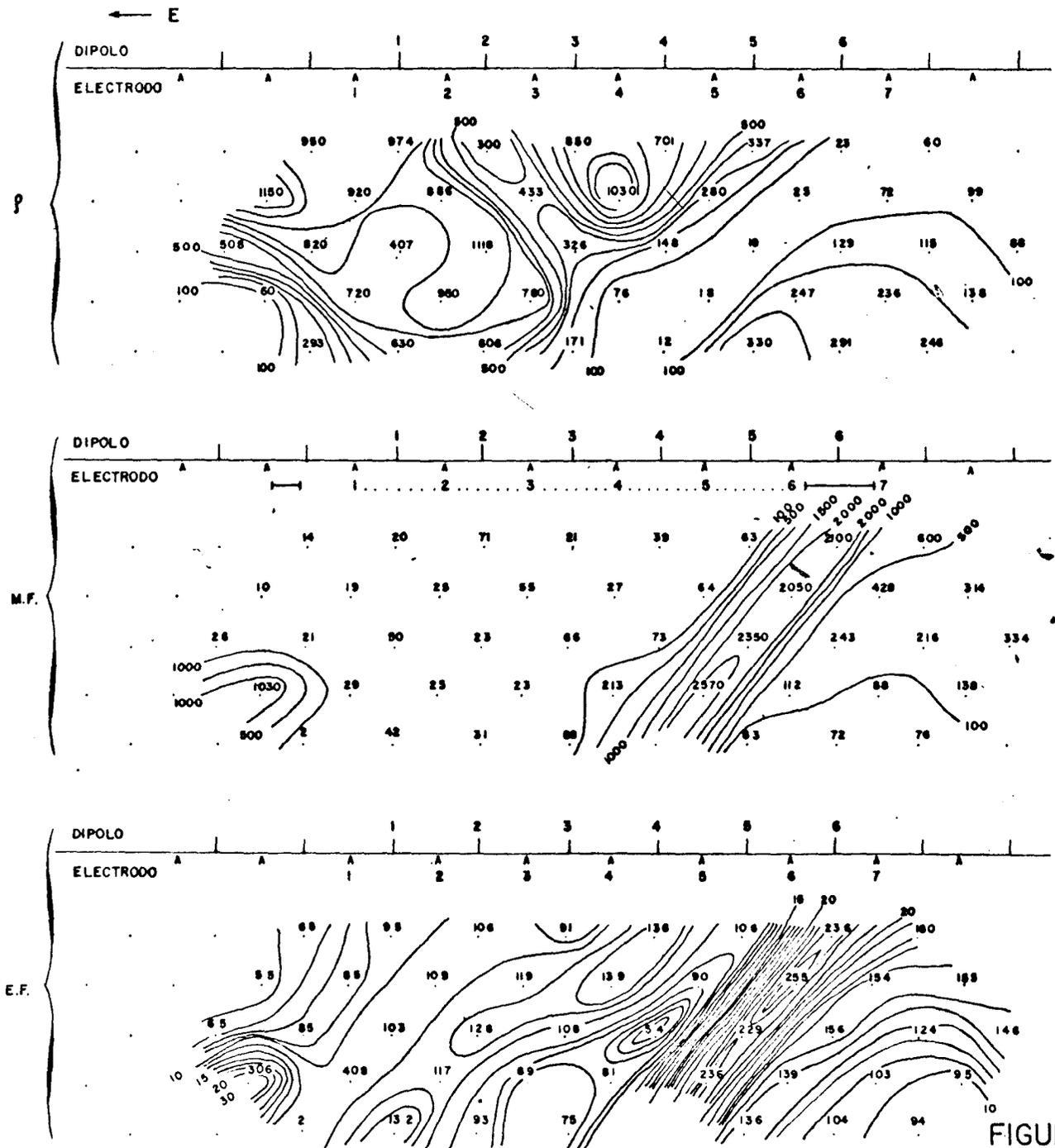
GEOTECNIA, S.A.

AVDA. ALBERTO ALCOGER, 5 MADRID 16
TELEFONO 2 50 3317

METODO DE POLARIZACION INDUCIDA Y RESISTIVIDAD

TRABAJO N° 6705
SITUACION... *ARINTEIRO*
PERFIL N°... *G*
AZIMUT... *90°*
PUNTOS FIJOS... *electrodo 4 en G 25*
CONFIGURACION... *dipolo-dipolo 3 y 0.05%*
LONGITUD DIPOLO... *100 mts.*

OBSERVACIONES



FECHA... *12-VI-1967*

FIRMA.....

FIGURA-13

del tipo calicatas y sondeos. De sobra son conocidas las respuestas altamente positivas que dan los cuerpos de piritas masivas de por ejemplo la faja pirítica del S.W de España, y no hay ninguna razón lógica que permita dudar de las respuestas que pudiera dar por ejemplo un lentejón de sulfuros masivos - como el de Fornás que alcanza potencias de 20 a 30 m.

La única duda cabría plantearse para el tipo Arin-teiro, pero si hemos admitido una relativa continuidad del conductor de sulfuros a través de su carácter en buena parte reticular, y vista la positiva respuesta que da en los perfiles de resistividad debemos pensar que la respuesta lógica a las técnicas de calicatas y sondeos eléctricos debe ser positiva también

11.2.7.- Técnicas geofísicas gravimétricas

Evidentemente la gravimetría debe dar resultados positivos sobre depositos masivos o semimasivos del tipo For-nás, por lo menos en el plano teórico.

Sin embargo a nivel práctico el amplio marco requrido para establecer el valor de fondo correcto en gravime-tría así como las continuas y necesarias correcciones por - efecto del relieve que a su vez requieren una base topográ-fica fina, complican de hecho la aplicación de la gravime-tría.

La gravimetría presenta también problemas de aplica-ción en depositos diseminados. En primer lugar por el amplio marco requerido para establecer correctamente el valor regio-rio

nal y por las continuas correcciones requeridas por los efectos de relieve; en segundo lugar porque requeriría una malla de observaciones muy densa; en tercer lugar porque si como ocurre en Arinteiro, Cerro de S. Sebastian etc. el horizonte mineralizado se halla en el núcleo de una roca básica, ligeramente más densa que el entorno metapelítico, las variaciones de densidad producidas auténticamente por sulfuros pueden resultar difíciles de captar.

**12 · ESTUDIO ECONOMICO - MINERO DE LOS
YACIMIENTOS DE Cu DEL AREA DE
SANTIAGO**

12.- ESTUDIO ECONOMICO-MINERO DE LOS YACIMIENTOS DE Cu DEL -
AREA DE SANTIAGO

12.1.- CONSIDERACIONES PREVIAS

Uno de los objetivos perseguidos en la ejecución - del presente proyecto es:

"Determinar los valores mínimos de riqueza y envergadura que deben reunir las mineralizaciones, del tipo de la estudiada, para que resulten económicamente productivas en la actualidad y en un futuro previsible".

El alcanzar este objetivo significa conocer el tamaño y calidad de los yacimientos que se han de prospectar en la zona en cuestión. Su repercusión es importante a la hora de dedicar esfuerzos y aplicar diversas técnicas en la investigación de una determinada zona.

El problema es difícil de resolver debido a la cantidad de parámetros que influyen en la viabilidad económica de un proyecto de explotación minera; complicado, además, porque muchos de estos parámetros varían con el tiempo y están ligados a circunstancias técnicas, económicas y políticas.

La determinación de los valores mínimos que deben - alcanzar ciertos parámetros debe realizarse a través, evidentemente, de un estudio económico-minero que ligue las diversas circunstancias, técnicas y económicas, que concurren en el tipo de mineralizaciones de la zona. El estudio debe, además, - realizarse con un cierto grado de abstracción para que permita analizar la variación de algunos de los parámetros que intervienen en el sistema y que condicionan fuertemente la viabilidad económica de un proyecto de explotación.

La condición fundamental, y al mismo tiempo evidente, para que un yacimiento sea económicamente explotable es - que: la suma actualizada de todos los gastos incurridos - que incluyen costes de producción, equipo, inversiones, gastos financieros, amortizaciones, impuestos, etc.- en extraer el mineral del yacimiento, sea menor que los ingresos actualizados obtenidos por su venta. Por apartarse del objetivo de este estudio, no se entrará a analizar la dimensión de esta diferencia que constituiría, en esencia, la rentabilidad de la inversión realizada.

Según esto hay que considerar:

- ¿Qué cuesta extraer y transformar el mineral del yacimiento en producto vendible?.
- ¿Cuanto se puede obtener por ese producto?.

En una explotación minera lo usual es extraer el mineral, concentrarlo, y disponer de este como producto vendible, habiendo por tanto dos fuentes de gastos. En este estudio, sin embargo, con el criterio de simplificar el problema, se considerará que el mineral extraído de la mina constituye un producto vendible.

Para el cálculo del coste de extracción deben considerarse diversos factores o circunstancias entre los que cabe mencionar:

- Las características mecánicas y geológicas de la mineralización, que junto a la disposición espacial del yacimiento, repercuten en el método de

laboreo a adoptar, así como en el acceso y preparación de la mina.

- El método de laboreo incide en el equipo minero - a utilizar, cuya capacidad de producción hay que determinarla en función de las reservas de la mina, de su vida, y del grado de mecanización.
- El considerar una u otra ley de corte hace variar las reservas con la consiguiente repercusión en otros factores.
- La mano de obra, con su disponibilidad, costes - constantemente crecientes, y otros problemas de índole social (seguridad e higiene en el trabajo, jornada laboral, absentismo, huelgas, etc) repercuten en el grado de mecanización.
- La localización geográfica, con la repercusión - que puede tener tanto con la infraestructura (energía, agua, comunicaciones) como por las condiciones climáticas, puede incidir decisivamente - en la viabilidad de un proyecto de explotación.

La cantidad de dinero que se puede obtener por la venta del mineral estará condicionada por el valor del mineral, el cual se calcula más adelante suponiendo que a partir de él se obtienen unos concentrados de precio calculable mediante una fórmula internacional y al cual se deducen unas cantidades en concepto de coste de tratamiento, transporte, etc. Por la relación existente entre el mineral y el precio - de venta de los concentrados y del metal, se pueden considerar una serie de factores que afectan a su valor y por tanto a la viabilidad económica del proyecto de explotación:

- Mercado nacional e internacional, en los cuales

- la oferta y demanda se ven modificadas por factores tan diversos como: el desarrollo tecnológico, los stocks, la situación política, los efectos - contaminantes, los productos sustitutivos, etc.
- Composición y características fisico-químicas del mineral, por su influencia en los costes de concentración, fusión y refino (equipo, mano de obra, consumo de energía, reactivos, etc).
 - Rendimiento de la planta de concentración.
 - Costes de comercialización.
 - Ley del mineral.
 - Ley del concentrado obtenido.
 - Etc.

Tras esta revisión muy superficial de los factores que va a incidir en la posibilidad de explotar económicamente un yacimiento, hay que destacar que todos ellos influirán en la inversión de capital que hay que realizar para poner la mina en marcha, y en los costes de explotación. Para obtener una primera aproximación en el estudio de viabilidad se puede suponer que:

- La vida de la mina es directamente proporcional a las reservas del yacimiento e inversamente proporcional a la capacidad de producción de la instalación.
- La inversión a realizar es una función de la capacidad de producción.
- El coste de producción es una función de la capacidad de producción.
- Los ingresos por ventas son una función de las reservas, de la ley del mineral y precio del metal.

A lo largo de este capítulo se irán haciendo una serie de hipótesis que permitirán conocer las funciones de la inversión, del coste de producción y de los ingresos anuales en función de la capacidad de producción. Estas funciones permitirán deducir las condiciones mínimas de explotabilidad, estudiando la viabilidad económica de varios proyectos mineros y, asumiendo que el inversor únicamente desea recuperar el capital invertido, con sus correspondientes intereses de oportunidad del dinero. Para ello se partirá de una capacidad de producción y se determinarán los años que debe estar operando la mina para poder recuperar la inversión inicial, supuesto conocido el valor del mineral. Una vez determinada la vida mínima de la mina se deducen automáticamente cuales deben ser las reservas mínimas del yacimiento con la ley en cobre utilizada en los cálculos. Es decir, se determinaran las reservas mínimas que debe tener un yacimiento de una determinada ley para que sea explotable con unas ciertas hipótesis. El proceso se repetirá para varias capacidades.

12.2.- RESULTADOS ECONOMICOS DE UNA EXPLOTACION MINERA

La determinación de los parámetros mínimos de un yacimiento, en este caso de cobre y situado en la zona de Arrinteiro, exige analizar la viabilidad económica de un proyecto de explotación minera, y esta no sólo depende de las reservas y ley del yacimiento, sino también de una serie de variables, unas internas al sistema y otras externas, tal como se vió en el anterior apartado.

Para determinar los parámetros mínimos de un yacimiento de cobre que hacen viable su explotación, se irán definiendo paulatinamente las principales características de un proyecto, adoptando una serie de hipótesis para simplificar el problema y realizarlo con un grado suficiente de abstracción. La viabilidad de su explotación se determinará a través del análisis de los resultados económicos anuales del proyecto, para lo cual habrá que tener en cuenta que:

- Margen neto anual = Ingresos - Gastos de producción.
- Beneficio bruto = Margen neto - Gastos financieros.
- Beneficio neto = Beneficio bruto - Amortización.
- Sobre el beneficio neto se deducen los impuestos de sociedades, obteniéndose el beneficio después de impuestos que se distribuye en las cuentas de accionistas, de reservas, de previsión de inversión, etc.

Las condiciones límite de explotabilidad del yacimiento, se pueden deducir suponiendo que el proyecto genere -

anualmente un beneficio neto nulo, lo que equivale a suponer que la operación únicamente permite recuperar la inversión - realizada con sus intereses correspondientes - tanto durante la fase de construcción de la mina como durante el tiempo que se tarda en recuperar la inversión - sin producir un beneficio adicional que compense el riesgo de invertir en la operación minera. En este supuesto, anualmente, el beneficio bruto obtenido se dedica a la amortización de la inversión. Los ingresos por ventas de mineral cubren los costes de operación, financieros y amortizaciones.

Si anualmente se calcula la amortización acumulada, se llega a un año t_0 en que esta se iguala a la inversión realizada. La cantidad de mineral y calidad el mismo que es necesario extraer para que esto ocurra permiten determinar las - reservas mínimas de mineral, de una determinada ley, que debe tener el yacimiento.

En ciertos casos, el inversor puede acometer proyectos mineros en los que no se llegue a recuperar la inversión - realizada, por ejemplo cuando espera asegurar el suministro de algún proceso posterior de la cadena que dispone (Fundición, Refino, Industria manufacturera, etc), ó por política de empresa. El Estado también puede ejecutar proyectos de estas características cuando trata de obtener un autoabastecimiento de la materia prima a toda costa (circunstancias políticas, bélicas, etc) ó cuando lo que pretende es obtener beneficios sociales (creación de puestos de trabajo, etc).

12.2.1.- Cálculo de los ingresos anuales

Los ingresos anuales únicamente estarán generados

por la venta del mineral. En principio se supondrá que la explotación minera, que se realiza a cielo abierto, no incluye un concentrador, y aunque no es usual poner en el mercado minerales de cobre, se estimará el precio por tonelada de este mineral por el metal contenido, descontándole los gastos y pérdidas por tratamiento, transporte, etc. El adoptar esta hipótesis es debido a que en ocasiones la puesta en explotación de un pequeño yacimiento no justifica la instalación de una planta de concentración, pero la previa existencia, en una localidad cercana, de una planta si puede justificar la puesta en marcha de una pequeña operación.

Una vez conocido el valor de la tonelada de mineral (v pts/t) se podrá conocer el volumen anual de ventas (V pts/año) en función de la producción anual de mineral (m_i -- t/año) que se supondrá de ritmo constante.

El volumen anual de ventas será, suponiendo constante el valor del mineral:

$$V = m_i \times v \text{ pts/año}$$

En realidad en una mina no se alcanza el ritmo de producción anual calculado hasta transcurridos 1-2 años. El ritmo constante de producción puede variar del previsto debido a variaciones del mercado, lo que por otra parte hace que no sea rigurosamente constante. También durante los últimos años de vida de la mina la producción decrece. En este estudio no se tendrán en cuenta estas variaciones.

Las reservas del yacimiento hipotético que se está estudiando tienen una ley media de $L\%$ en Cu, incluida la di-

lución.

También se supondrá que llevando el mineral a una planta de concentración se obtienen concentrados de cobre con una ley del 24% de Cu y que el rendimiento de la planta alcanza el 88%, con un coste de tratamiento (incluidas las amortizaciones) de 200 pts/t de mineral. Estas suposiciones se basan en los resultados que obtiene Rio Tinto Patiño en su explotación de Arinteiro y considerando que el mineral que se tratará tendrá las mismas características de concentración.

Si se supone que la mina no dispone de concentrador y por lo tanto hay que llevar el mineral a una planta cercana, habrá que tener en cuenta que el coste de transporte es, en la zona, del orden de 1,40 pts/t, lo que para una distancia de 50 km importa 140 pts/t de mineral.

Adoptando estas hipótesis se tiene que de una tonelada de mineral se recuperan en la planta de concentración:

$$88/100 \times L/100 \text{ t de Cu}$$

Lo que equivale a:

$88/100 \times L/100 \times 100/24 \text{ t de concentrado del 24% de Cu}$. Una vez determinado el número de toneladas de concentrado de Cu que se pueden obtener por una tonelada de mineral, se calcula el valor de la tonelada de concentrados a través de una fórmula utilizada en el mercado de internacional.

El precio de una tonelada de concentrado de cobre del 24% de Cu es:

$$p = \frac{L - 1}{100} (P - G_f)K_1 - G_r K_2 K_1$$

Siendo:

p = precio de la tonelada de concentrado de 24% de Cu

L = ley del concentrado %

P = Precio del cobre en la L.M.E. (nov. 76) Libras/t

G_f = gastos de fusión en libras/t

K₁ = factor de conversión, 1 libra = 116 pts

G_r = Gastos de refinado en \$/t

K₂ = Factor de conversión, 1 libra = 1,6365 \$ U.S.A.

$$p = 0,23 (780,31 - 33,33)116 - \frac{40}{1,6365}116 = 17.094 \text{ pts/t de concentrado CIF}$$

Suponiendo que el flete hasta Huelva importa 610 pts/t de concentrado como en el caso de Arinteiro, el valor F.O.B. mina de la tonelada de concentrado será:

$$p = 17.094 - 610 = 16.484 \text{ pts/t de concentrado del 24\% de Cu.}$$

En el cálculo del valor de la tonelada de mineral se podrán considerar los siguientes casos:

1º. La mina no dispone de concentrador. Esta situación será aplicable cuando se trate de un pequeño yacimiento que no justifique construir la planta de concentración y al mismo tiempo es posible vender el mineral a una planta cercana (radio de 50 km con coste de transporte de 1,40 pts/t km) El valor del mineral será:

$$v = 88/100 \times L/100 \times 100/24 \times 16.484 - 200 - 140 = 604 \times L - 340 \text{ pts/t de mineral.}$$

La ley mínima que ha de tener el mineral para que pague los costes de tratamiento y transporte (además de los de fusión y refinado), sin tener en cuenta la explotación minera, se obtiene igualando el valor de la tonelada de mineral

a cero:

Para $v = 0$ $L = 0,563$ % de Cu

2º. La mina dispone de concentrador. En el coste de producción está incluido el gasto de llevar el mineral a la planta, por lo que el valor de la tonelada del mineral viene dado por la expresión:

$$v = 88/100 \times L/100 \times 100/24 \times 16.484 - 200 = \\ = 604 \times L - 200 \text{ pts/t de mineral.}$$

En este caso la ley mínima que ha de tener el mineral para que pague todos los costes de tra .
tamiento es:

Para $v = 0$ $L = 0,331$ % de Cu

El no considerar el transporte mina concentra-
dor supone el reducir la ley del mineral en -
0,232% de Cu, disminución que representa el -
41%.

En este estudio no se tendrá en cuenta el oro que puede acompañar al concentrado (aproximadamente 1,5 gr/t) con las consiguientes bonificaciones, así como las posibles pena
lizaciones por impurezas.

12.2.2.- Costes de explotación

Una vez conocido el precio de venta unitario del mineral producido, siendo por lo tanto posible conocer el mon
to de una determinada producción obtenida en un periodo de -
tiempo - que se considerará de un año -, es necesario conocer el coste de producción para poder calcular el margen neto an-
nual.

La estimación del coste de producción en el estudio de viabilidad de un proyecto minero es de vital importancia, - ya que estos costes se producen a lo largo de toda la vida de la mina y representan una cantidad de dinero varias veces superior a la inversión de capital. En su cálculo intervienen - numerosos factores entre los cuales cabe citar:

- Método de laboreo adoptado
- Características geológicas y mecánicas del yacimiento.
- Tamaño del yacimiento.
- Grado de irregularidad.
- Método de acceso y preparación.
- Infraestructura (agua, energía, comunicaciones, etc).
- Localización geográfica.
- Condiciones climáticas
- Costes de inversión.
- Cargas financieras.
- Etc.

Por analogía al yacimiento de Arinteiro, operado - por Río Tinto Patiño, se supondrá que la explotación se llevará a cabo a cielo abierto. Esta hipótesis condiciona fuertemente la estimación de los costes de producción y de la inversión a realizar para poner la mina en marcha.

El coste de producción de una mina durante un periodo de referencia -un año- está constituido por la suma de los costes de operación ó explotación y los gastos generales de - la sociedad.

Coste de producción = coste de operación + gastos generales.

Los gastos generales de una empresa minera están -
constituidos por:

| | | | |
|----------------------|---|--------------------|--------------------------|
| GASTOS/ GENERALES | } | Costes de ventas | - fletes |
| | | | - stocks |
| | | | - servicio técnico |
| | } | Costes de gerencia | - Ejecutivos |
| | | | - Investig. y desarrollo |
| | | | - Departamento jurídico |
| | | | - Administración |
| | | | - Relaciones públicas |
| | | | - Otros |

Según la filosofía contable de cada empresa los -
gastos generales pueden incluirse o no en los gastos de la ex
plotación minera. Frecuentemente se distribuyen entre la mina,
el concentrador, la fundición, la refinera etc. Su cuantía es
muy variable y depende de factores como:

- Filosofía de la empresa
- Campos de actividad
- Dimensión de la empresa
- Organización
- Etc.

En este estudio se considerará que estos costes ge-
nerales son independientes de la capacidad de la mina y que su
ponen 1,55 pts/t movida.

Los costes de operación pueden clasificarse como -

gastos que dependen directamente de la producción obtenida y - que por lo tanto varían con ella (costes variables o directos), y los gastos que no dependen del nivel de producción alcanzado (costes indirectos ó fijos). Una clasificación más depurada de bería considerar los costes semivariables.

En los costes directos de explotación se incluyen:

| | | |
|-----------------------------------|--------------|--|
| COSTES DIRECTOS DE EXPLOTACION | Mano de obra | - directa de explotación |
| | | - supervisión de explotación |
| | | - directa de mantenimiento |
| | | - supervisión de mantenimien <u>to</u> . |
| | | - gastos administrativos de nóminas. |
| | Materiales | - combustibles |
| | | - energía |
| | | - agua |
| | | - suministros explotación (explosivos) |
| | | - repuestos |
| | | - materiales de mantenimiento |
| | | - otros |

Los costes indirectos de explotación comprenden:

| | |
|----------------------|------------------------------|
| COSTES INDIRECTOS | Costes del capital invertido |
| | - depreciación |
| | - impuestos y seguros |
| | - gastos financieros |

Dirección y administración

| | |
|------------|----------------------|
| COSTES | - Ingeniería |
| INDIRECTOS | - no técnico |
| | - otros suministros |
| | - compra y almacenes |
| | - otros |

Asumiendo que parte de los gastos generales son fijos (servicio técnico, gerencia etc) y el resto variables, los gastos variables totales se pueden representar por una función lineal de la producción, y teniendo en cuenta que para un precio de venta constante los ingresos anuales son proporcionales a la producción, se puede determinar el nivel de producción para el cual la totalidad de los gastos se iguala a los ingresos por ventas. A partir de ese punto se obtienen beneficios. (fig nº 1).

En este estudio se considerarán como coste de operación la suma de los costes directos (mano de obra y materiales) y los costes de dirección, ya que los gastos derivados de la inversión de capital se considerarán por separado. En este supuesto el coste total de mano de obra supone aproximadamente el 44% del coste de operación. (incluida la de dirección y administración). El 56% restante está constituido por el gasto en materiales.

El coste de operación se puede agrupar en diversas funciones, y para tener una orientación de su magnitud se adjunta la tabla nº 1 expresada en \$ de 1973 por tonelada movida (mineral más estéril).

Pts./año

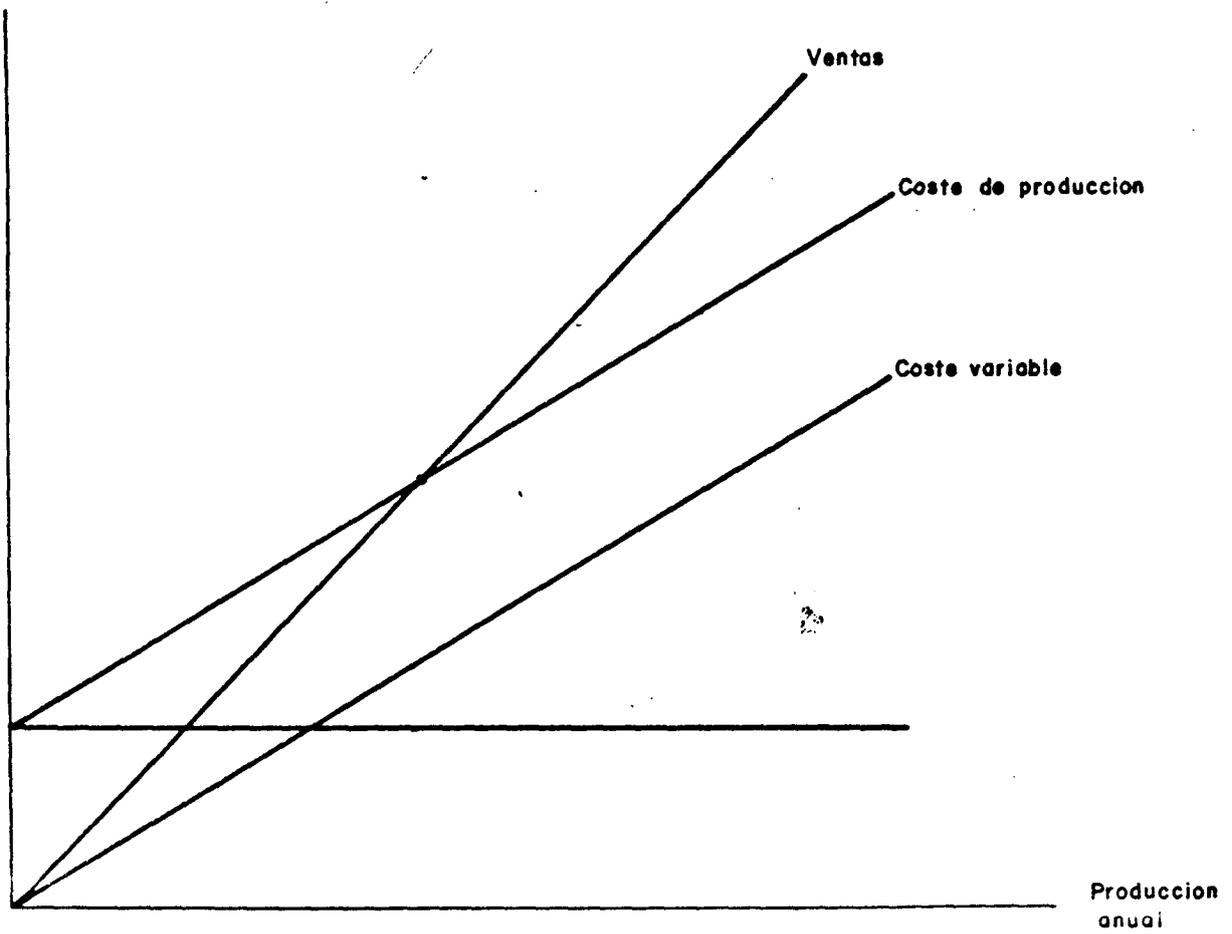


FIGURA Nº 1

TABLA Nº 1

COSTES DE OPERACION EN MINERIA A CIELO ABIERTO

| | Valor promedio | |
|-------------|----------------|-------|
| | \$/t | % |
| Perforación | 0,030 | 10,8 |
| Voladura | 0,028 | 9,8 |
| Carga | 0,047 | 16,5 |
| Transporte | 0,113 | 39,5 |
| Dirección | 0,067 | 23,4 |
| Total | 0,285 | 100,0 |

Si se consideran varias operaciones a cielo abierto es razonable esperar que el coste de operación por tonelada movida disminuya al aumentar la capacidad de la mina. La capacidad está ligada con los costes de operación a través de una función decreciente. S.G. Jarpa analizando los costes de operación por unidad de material movido en 13 operaciones mineras, explotadas a cielo abierto con sistemas contables análogos, relaciono la capacidad de la instalación de la mina con el coste unitario de operación a través de la siguiente expresión:

$$\text{Coste unitario de operación} = k (\text{capacidad})^{-0,21}$$

Teniendo en cuenta que se conocen los costes de operación de la mina de Arinteiro, operada por Rio Tinto Patiño, (tabla nº 2) se puede determinar la constante K, y por consiguiente se pueden estimar los costes de operación de otra explotación a cielo abierto de determinada capacidad.

TABLA Nº 2

COSTE DE OPERACION DE LA MINA DE ARINTEIRO

Unidad: pts dic. 1976/tonelada movida

Excluidas amortizaciones

| CONCEPTO | OPERACION | MANTENIMIENTO | TOTAL |
|--------------------------|-----------|---------------|-------|
| Perforación | 8,75 | 2,23 | 10,98 |
| Voladura | 8,77 | - | 8,77 |
| Carga | 5,40 | 3,49 | 8,89 |
| Transporte | 5,62 | 1,76 | 7,38 |
| Servicios mina | 3,61 | 2,09 | 5,70 |
| Servicios auxiliares | 2,20 | 0,17 | 2,37 |
| Mantenimiento | - | 0,46 | 0,46 |
| Gastos generales locales | n.d | n.d | 6,50 |
| Inversión en reposición | n.d | n.d | 5,97 |
| TOTAL | | | 57,02 |

La mina de Arinteiro produce actualmente 1.500.000 t de mineral al año con una relación esteril: mineral de 2:1 por lo que su capacidad es de 4.500.000 t de material al año. La anterior expresión se convierte en:

$$\text{Coste unitario de operación} = 57,02 \left(\frac{\text{Capacidad}}{4.500.000} \right)^{-0,21}$$

o bien

$$C = 57,02 \left(\frac{Q}{4.500.000} \right)^{-0,21}$$

Para simplificar los cálculos que se realizarán más adelante, se ha supuesto que la inversión que hay que hacer a lo largo de la vida de la mina para reponer material es un coste de operación. La inversión en reposición alcanza, en la mi-

na de Arinteiro, el valor de 40-45 millones de pesetas anuales, si bien no hay que reponer equipo durante los primeros años de vida de la mina ni tampoco durante los últimos.

En algunos casos se debe considerar también el coste que supone el tener que abonar un canon de arrendamiento, el cual suele estar comprendido entre un 5 - 7% de la diferencia: ingresos por ventas menos gastos de producción y menos amortizaciones. En este estudio no se tendrá en cuenta esta carga por no gravar el coste de operación con gastos distintos de los puramente necesarios para llevar a cabo la explotación minera.

Esta expresión permite estimar los costes de operación, en una explotación de cobre a cielo abierto en la zona de Arinteiro, por tonelada de material arrancado (mineral + estéril). Si se le añaden los gastos generales de la sociedad (1,55 pts/t movida en la mina de Arinteiro de Rio Tinto Patiño) se obtiene el coste de producción:

$$c = 57,02 \left(\frac{Q}{4.500.000} \right)^{-0,21} + 1,55 \text{ pts/t movida}$$

Para obtener el coste total de producción por tonelada de mineral hay que multiplicar la anterior expresión por $(1 + r)$, siendo r el ratio esteril: mineral. La función de este coste está representada en la figura nº 2 utilizando un ratio estéril: mineral igual a 2, que es el normal en la zona de Arinteiro.

$$C_{mi} = 4268,97 (Q)^{-0,21} + 4,65 \text{ pts/t mineral}$$

$$r = 2:1$$

o bien $C_{mi} = 3389,44 (m_i)^{-0,21} + 4,65 \text{ pts/t mineral}$

$$r = 2:1$$

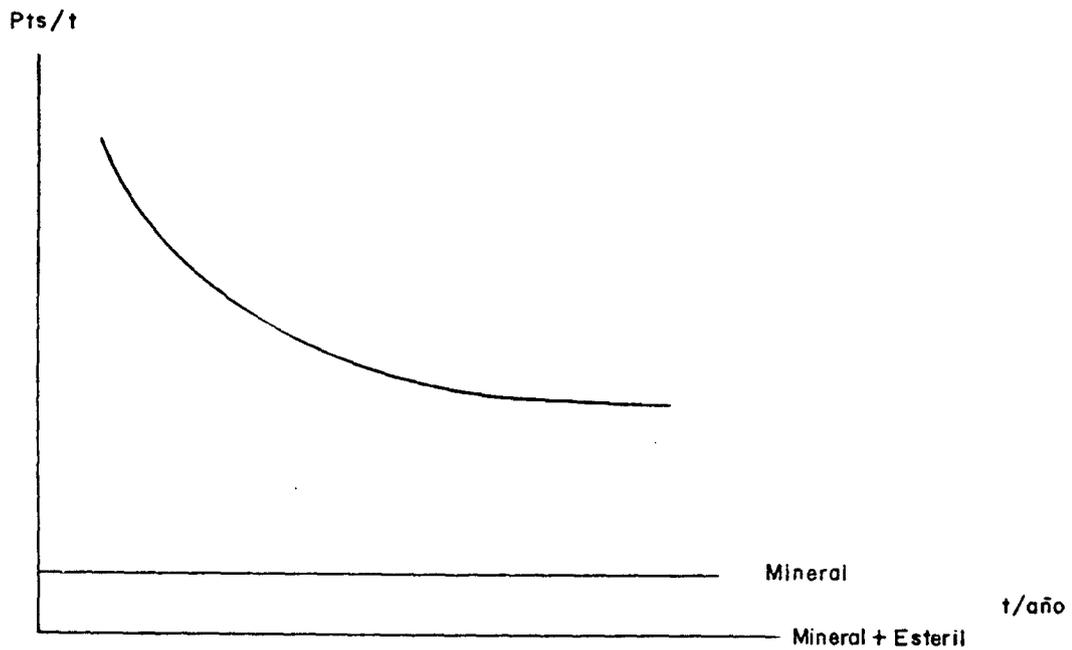
FIG. Nº 2

COSTE DE PRODUCCION PTS/t MINERAL

$$C_{mi} = 3389,44 (m_i)^{-0,21} + 4,65$$

$$r = 2:1$$

| Q | m_i | C_{mi} |
|------------|-----------|----------|
| 60.000 | 20.000 | 428 |
| 150.000 | 50.000 | 354 |
| 300.000 | 100.000 | 307 |
| 600.000 | 200.000 | 266 |
| 1.200.000 | 400.000 | 230 |
| 1.801.000 | 600.000 | 212 |
| 3.000.000 | 1.000.000 | 191 |
| 4.500.000 | 1.500.000 | 176 |
| 6.000.000 | 2.000.000 | 166 |
| 7.500.000 | 2.500.000 | 158 |
| 9.000.000 | 3.000.000 | 152 |
| 15.000.000 | 5.000.000 | 137 |



Si para un determinado ratio estéril: mineral se iguala la expresión que determina el coste de producción, según la producción anual, a la que expresa el valor del mineral en función de su ley, se obtiene una relación entre la ley del mineral y la producción anual de mineral. Esta expresión permite calcular la ley mínima que debe tener el mineral para que en un determinado nivel de producción pague los gastos de extracción, concentración y flete, y fusión y refino, sin incluir gastos financieros ni amortizaciones.

Esta expresión se ha calculado para los ratios estéril: mineral 1, 2 y 3.

Para $r = 1$

$$L = 4,074 \times (m_i)^{-0,21} + 0,336$$

Para $r = 2$

$$L = 5,612 \times (m_i)^{-0,21} + 0,339$$

Para $r = 3$

$$L = 7,044 \times (m_i)^{-0,21} + 0,341$$

En la figura nº 3 se han representado estas curvas así como la $L = 0,232\%$ Cu que representa la ley adicional que debe tener el mineral para que permita su transporte a una planta de concentración situada en un radio de 50 Km, y no tenida en cuenta en las anteriores expresiones.

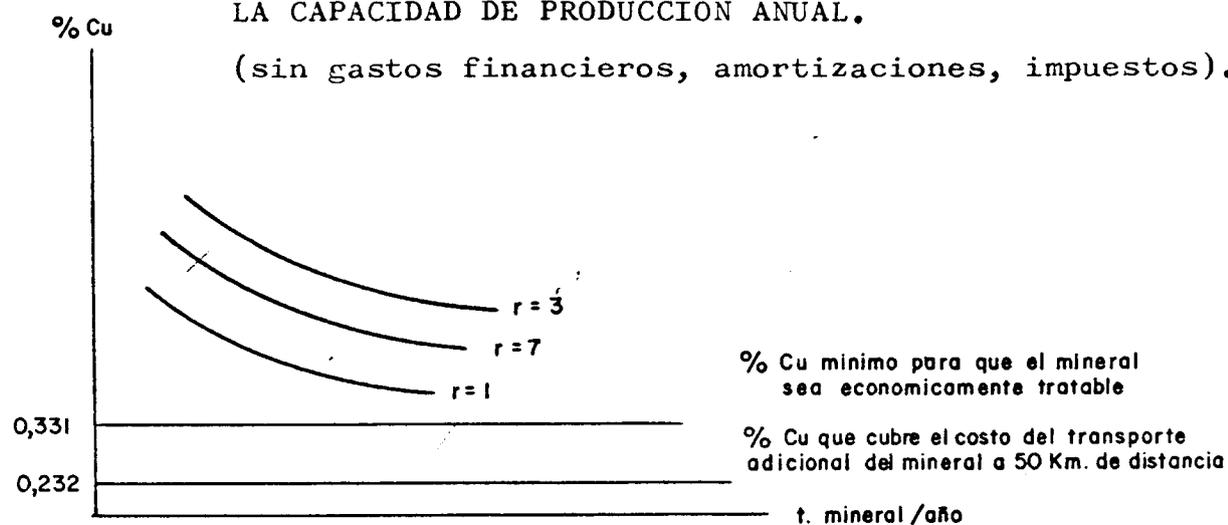
La recta $L = 0,331\%$ Cu significa el coste de tratamiento del mineral expresado en ley de cobre (incluido en las anteriores expresiones).

Las curvas de esta figura nº 3 permiten determinar la ley mínima que ha de tener un mineral para que cubra sus

FIG Nº 3

LEYES DE COBRE QUE CUBREN EL COSTE DE PRODUCCION SEGUN
LA CAPACIDAD DE PRODUCCION ANUAL.

(sin gastos financieros, amortizaciones, impuestos).



| t mineral/año | % Cu | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| | r = 1 | r = 2 | r = 3 |
| 20.000 | 0,845 | 1,040 | 1,221 |
| 50.000 | 0,756 | 0,917 | 1,067 |
| 100.000 | 0,699 | 0,839 | 0,969 |
| 200.000 | 0,650 | 0,771 | 0,884 |
| 400.000 | 0,607 | 0,713 | 0,810 |
| 600.000 | 0,577 | 0,682 | 0,772 |
| 1.000.000 | 0,560 | 0,641 | 0,728 |
| 1.500.000 | 0,542 | 0,622 | 0,696 |
| 2.000.000 | 0,529 | 0,606 | 0,675 |
| 3.000.000 | 0,514 | 0,584 | 0,648 |
| 5.000.000 | 0,496 | 0,559 | 0,617 |

costes de producción (función de la capacidad de la instalación minera), tratamiento (concentración, flete y fusión) y transporte a una planta concentradora - si hubiera lugar -, - sin incluir los gastos financieros y de amortización.

12.2.3.- Inversión. Gastos financieros

La inversión de capital a realizar para poner en marcha una explotación minera es uno de los capítulos más importantes a tener en cuenta. Su cálculo detallado requiere el realizar un exhaustivo análisis de todas las partidas que intervienen (equipo minero, preparación, infraestructura, edificios y almacenes, etc), lo cual significa un elevado número de horas de trabajo. En un estudio preliminar, en el que todavía no se conocen todas las características de la explotación, se suelen realizar los cálculos utilizando una serie de ratios - ó índices con los que es posible estimar una cifra aproximada de la inversión a realizar. Una forma sencilla de hacer la estimación, si se conoce la inversión realizada en otro proyecto de iguales características técnicas en un año determinado, es aplicar un índice de variación de costo, por ejemplo el publicado por Marshall & Stevens ó por E & MJ. Para corregir esa cifra de esta forma se tendría:

$$\text{Inversión actual} = \frac{\text{Índice actual}}{\text{Índice año X}} \text{ Inversión año X}$$

Dentro de la inversión cabe distinguir:

- Inversión en la mina. Incluye el equipo minero, investigación inicial, obra civil, desmonte previo, infraestructura, stock de almacenes etc. La inversión en la mina se puede -

estimar en función del coste del equipo minero involucrado en la explotación ya que:

—

Inversión en la mina = K (Inversión en equipo)

El valor de la K es variable y puede estar comprendido entre 3,1 y 5,3 (Jarpa). En el caso de la mina de Arinteiro - vale 3,16.

En la minería a cielo abierto el grueso del equipo minero - está constituido por:

- Perforadoras
- Palas excavadoras
- Camiones
- Tractores para movimiento de tierras.

En la tabla nº 3 se indica el porcentaje de participación del principal equipo minero en la inversión en equipo en explotaciones a cielo abierto.

TABLA Nº 3

DISTRIBUCION DE LA INVERSION EN EQUIPO MINERO
(MINERIA A CIELO ABIERTO)

| | |
|--------------|-------|
| Perforadoras | 8,8% |
| Palas | 28,2% |
| Camiones | 52,7% |
| Tractores | 10,3% |

En la voladura, el equipo minero necesario es poco y la parte más costosa (camiones para el transporte de explosivo con sistema neumático de carga de barrenos, etc) - corre a cargo de la empresa suministradora de los explosivos.

- Capital circulante. La mina necesita disponer de un capital de trabajo para:
 - Hacer frente a los gastos de producción cuando la mina se pone en marcha hasta haber cobrado el primer embarque de producto.
 - Hacer frente al defase entre pagos y cobros.
 - Superar alguna situación imprevista (accidente, huelga, etc).

El capital circulante se estima por los gastos de producción durante un periodo de 4 - 6 meses.

- Intereses de la inversión durante el periodo de construcción de la mina. Actualmente se considera que este periodo no debe sobrepasar los 24 meses, siendo normal que suponga 18 meses.

La suma de todos estos capítulos dan la inversión total necesaria para poner la mina en marcha. Esta, por otra parte, depende de la capacidad de producción de la instalación -mineral + esteril- a través de una función creciente (al aumentar la capacidad aumenta la inversión a realizar). Si se considera la inversión por unidad de capacidad, la función que la liga con la capacidad es decreciente.

Llamando:

I = Inversión a realizar

Q = Capacidad de producción anual (mineral + esteril)

m_i = Producción anual de mineral

r = ratio esteril : mineral

cumpléndose que:

$$Q = (1 + r) \cdot m_i$$

Se puede utilizar, para estimar la inversión total, una relación del tipo:

$$I = K_0 \cdot Q + K_1$$

ó más generalmente

$$I = K_0 \cdot Q^n + K_1 \quad \text{con } 0 < n \leq 1$$

En Diciembre de 1973 S.G. Jarpa analizó la inversión realizada en varios proyectos mineros de cobre en la mundo, excluyendo de la inversiones la planta de concentración, y obtuvo que la relación que liga la inversión con la capacidad de la instalación es de la forma:

$$I = K \cdot Q^{0,94}$$

expresión análoga a la citada anteriormente.

Utilizando datos provenientes de E & MJ de diferentes proyectos mundiales de minas de cobre también obtuvo que el exponente de escalación de la inversión valga 0,80, debido a que la información utilizada también incluía las inversiones en la planta de tratamiento.

En este estudio se utilizará el exponente 0,94, y para calcular el coeficiente K se utilizará la información suministrada por Rio Tinto Patiño de su mina de Arinteiro.

Las inversiones en la mina de Arinteiro se desglosan en la tabla nº 4.

TABLA Nº 4. INVERSIONES EN LA MINA DE ARINTEIRO

| | |
|-----------------|-----------------|
| Maquinaria | 171.000.000 pts |
| Desmante previo | 155.000.000 pts |
| Terrenos | 15.000.000 pts |

| | |
|--|-------------------|
| Oficinas y talleres | 25.000.000. pts. |
| Investigación inicial | 91.000.000. pts. |
| Administración preproducción | 36.000.000. pts. |
| Stocks almacén y capital de trabajo | 33.000.000. pts. |
| Intereses | 14.000.000. pts. |
| / TOTAL | 540.000.000. pts. |

Esta inversión se terminó de realizar en el año 75 por lo que hay que actualizarla. Para ello se supondrá incrementado en un 10% ya que a esta fecha no está disponible la información estadística que permitiría obtener los índices de incremento de cada partida de la inversión. Así pues todos los cálculos están hechos con pts de finales del 76.

Teniendo en cuenta que Arinteiro produce 1.500.000 t de mineral y que el ratio esteril: mineral es de 2:1, la capacidad de la instalación es de 4.500.000 t de material (estéril + mineral) por año.

Entonces se tiene:

$1,1 \times 540.000.000 = K \times (4.500.000)^{0,94}$
que llevado a la expresión general resulta:

$$I = 540.000.000 \left(\frac{Q}{4.500.000} \right)^{0,94} \times 1,1$$

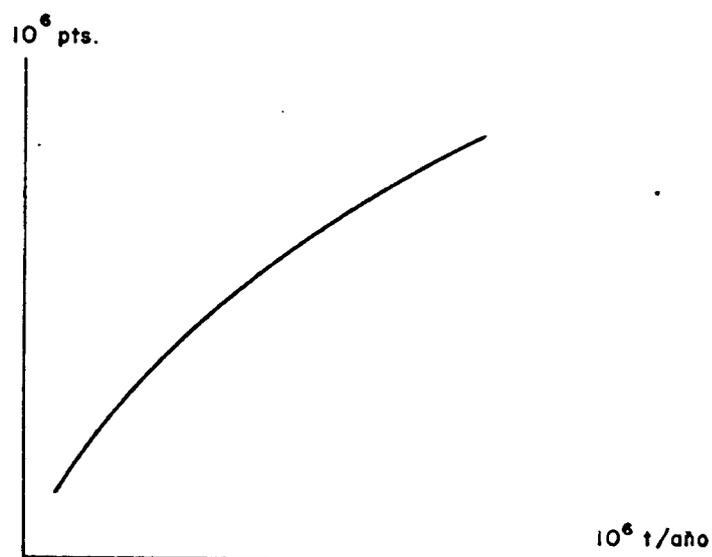
Ecuación que permite estimar la inversión total necesaria para poner en marcha una explotación de cobre a cielo abierto en la zona de Arinteiro en función de la capacidad de la instalación (fig. nº 4).

FIGURA Nº 4

CURVA INVERSION - CAPACIDAD DE LA INSTALACION
MINERA (CIELO ABIERTO)

$$I = 330 (Q)^{0,94} \text{ pts.}$$

| Q | I |
|------------|---------|
| 100.000 | 16 |
| 200.000 | 31,7 |
| 500.000 | 75,0 |
| 700.000 | 103,0 |
| 1.000.000 | 144,0 |
| 1.500.000 | 211,0 |
| 2.000.000 | 276,0 |
| 2.500.000 | 341,0 |
| 3.000.000 | 404,0 |
| 4.500.000 | 592,0 |
| 5.000.000 | 654,0 |
| 10.000.000 | 1.254,0 |



Las inversiones en reposición ya se tuvieron en cuenta cuando se estimó el coste de producción.

Se supondrá que la inversión se realiza con capital propio, por lo que no se tendrán en cuenta cargas por créditos. Tampoco se considerarán los gastos ocasionados por descuentos de letras etc, suponiéndose que los únicos gastos financieros son los derivados del capital invertido que actualmente se pueden cifrar en un 10% de la inversión realizada y no amortizada.

12.3.- ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONOMICA DE DIFERENTES PROYECTOS MINEROS.

12.3.1.- Metodología

Una vez presentadas las ecuaciones que permiten estimar la inversión total a realizar para poner una mina de cobre, explotada a cielo abierto, en marcha, y los correspondientes coste de producción en función de la capacidad de la instalación:

$$I = 330 \times (Q)^{0,94} \text{ pts para } r=2:1$$

$$c_{m_i} = 4268,97 \times (Q)^{-0,21} + 4,65 \text{ pts/t de material (mineral + estéril)}.$$

ó

$$c_{m_i} = 3389,44 \times (m_i)^{-0,21} + 4,65 \text{ pts/t de mineral}$$

para $r = 2:1$

así como el valor de la tonelada de mineral en función de su ley:

$$v = 604 \times L - 200 \text{ pts/t de mineral, sin considerar un coste adicional por transporte del mineral al concentrador.}$$

ó

$$v = 640 \times L - 340 \text{ pts/t de mineral, suponiendo que el concentrador está a 50 km de la mina.}$$

se va a proceder a calcular las reservas mínimas que debe tener un yacimiento de cobre con mineral de una cierta ley. Para ello se considerarán tres casos:

Proyecto nº 1: Capacidad de producción $m_i = 100.000$
t mineral/año

Proyecto nº 2: Capacidad de producción $m_i = 500.000$
t mineral/año

Proyecto nº 3: Capacidad de producción $m_i=1.500.000$
t mineral/año.

Siempre con ratio esteril: mineral igual a 2; $Q =$
 $= (1+r) \times m_i$

Para cada uno de estos proyectos se/ calcularán:

- Inversión necesaria para poner en marcha la explotación mi-
nera (I pts).
- Coste de producción (C_{m_i} Pts/t de mineral)
- Valor de la tonelada de mineral para varias leyes en cobre.
Las leyes en cobre que se considerarán, en este estudio se -
indican en la tabla nº 5, así como su correspondiente valor
por tonelada y la variación que supondría que el precio del
metal variase en más menos 10%.

TABLA Nº 5

VALOR DE LA TONELADA DE MINERAL

| Ley en Cu % | Valor de la t de mineral en pts/t | | |
|----------------|-----------------------------------|-------|------|
| | Al precio actual del Cu | + 10% | -10% |
| 0,6 | 162 | 222 | 130 |
| 0,7 | 223 | 292 | 185 |
| 0,8 | 283 | 362 | 240 |
| 1,0 | 404 | 503 | 350 |
| 1,2 | 525 | 644 | 460 |

En los proyectos mineros que se considerarán se supondrá -
que no hay un coste adicional por transportar el mineral -
a una planta concentradora lejana.

- Ingresos anuales por ventas según los diferentes valores de
la tonelada de mineral.

- Gasto anual de producción
- Margen neto anual.
- Gastos financieros anuales que supondrán el 10% de la inversión no amortizada.
- Beneficio bruto anual.
- Amortización acumulada en la hipótesis de que el beneficio neto anual es nulo, con el fin de dedicar todos los beneficios brutos a amortizar la inversión. Es evidente que realmente no se pueden dedicar todos los beneficios brutos a amortizar el capital invertido, entre otras razones porque existen unos porcentajes legales de amortización según la inversión que se trate y que únicamente se pueden sobrepasar si se ha autorizado realizar una amortización acelerada (ligada a una exención de impuestos sobre beneficios durante los primeros años de explotación), pero aquí se supondrá válido ya que de lo que se trata es de terminar las dimensiones y ley mínimas que debe tener un yacimiento de cobre para que sea explotable, lo cual equivale a decir que su explotación permite recuperar el capital invertido en ella. Por otro lado, normalmente se exige en los negocios mineros el poder recuperar la inversión en un periodo de tiempo que no sobrepase los cinco años.
- Años en que se tarda en recuperar la inversión. Las reservas mínimas que debe tener el yacimiento se obtendrán por el producto de este número de años por la producción anual de mineral de una determinada ley.

12.3.2.- Resumen de hipótesis realizadas

a) Hipótesis técnicas

- Yacimiento de cobre de características geológicas análogas a las del de Arinteiro.

- La explotación se realiza por minería a cielo abierto.
- El rendimiento de la explotación es del 100%.
- La explotación se lleva a cabo a ritmo constante (m_i toneladas anuales de mineral).
- El ratio estéril: mineral en la zona es de 2:1
- La capacidad de la instalación minera es Q , siendo

$$Q = (1+r) \times m_i = 3 \times m_i$$
- El rendimiento de la planta de concentración es del 88%.
- En el concentrador se obtienen concentrados con el 24% de cobre.
- En los concentrados no hay oro ni impurezas.
- Las reservas que debe tener un yacimiento que se explota se a un ritmo anual m_i toneladas con una ley L % de Cu, se calculan con el producto de la producción anual por la vida de la mina. Esta se calcula suponiendo que el proyecto minero únicamente debe generar unos ingresos que permitan recuperar la inversión realizada para poner en marcha la mina, con sus correspondientes intereses. (Vida de la mina = nº de años que se tarda en recuperar la inversión más sus intereses).

b) Hipótesis económicas

- Beneficio neto anual nulo
- Amortización anual = Beneficio bruto anual
- La inversión incluye todos los gastos necesarios para poner en marcha la mina.
- Los gastos financieros suponen un 10% de la inversión no amortizada.
- La inversión se realiza con capital propio no recurriendo, por lo tanto, a créditos.
- La inversión realizada para poner en marcha una mina que produzca anualmente m_i toneladas de mineral es de:

$$I = 330 \times (m_i)^{0,94} \text{ pts.}$$

- La inversión en reposición se supone que es un gasto de producción.
- El coste de producción (coste de operación + gastos generales de la sociedad) es:

$$c_{m_i} = 3389,44 \times (m_i)^{-0,21} + 4,65 \text{ pts/t mineral}$$
- El inversor únicamente pretende recuperar la inversión realizada más el 10% de intereses (coste de oportunidad del dinero)
- La vida de la mina permite recuperar la inversión más el 10% de intereses.
- El producto vendible lo constituye el mineral de cobre sin concentrar.
- Cotización del cobre metal: 780,31 libras/t
- Flete mina a fundición (huelva) 610 pts/t concentrado.
- Coste de concentración (incluida amortización) 200 pts por tonelada de mineral tratado.
- Si la mina no tiene concentrador y se lleva el mineral a otra planta situada en un radio de 50 km, el coste del transporte supone 140 pts/t mineral (0,232 % en cobre).
- 1 libra esterlina = 116 pts = 1,6365 \$ U.S.A.
- Los ingresos de la mina únicamente están producidos por ventas de mineral.
- Se supone que no hay que pagar un canon de arrendamiento.
- Todos, los cálculos están realizados con pesetas de Noviembre de 1976.

12.3.3.- Calculos de los proyectos 1, 2 y 3

En este apartado se realizarán los cálculos necesarios para determinar el tiempo que se tarda en recuperar la inversión realizada para poner en marcha estos proyectos, defini

dos por su capacidad, para distintas leyes. El cálculo de ese tiempo permite determinar las reservas mínimas de un mineral de cierta ley para que el proyecto sea viable.

También se tendrá en cuenta una variación de $\pm 10\%$ en el precio del cobre metal.

En la tabla nº 6. Están resumidos los datos de entrada.

TABLA Nº 6

| Proyectos Nº | Capacidad t mineral/año | Inversión 10^6 pts | Coste de producción pts/t mineral |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 100.000 | 46 | 302 |
| 2 | 500.000 | 210 | 220 |
| 3 | 1.500.000 | 592 | 176 |

| Ley del mineral % | Valor de la tonelada de mineral pts/t y ley de cobre equivalente % | | | | |
|----------------------|--|--|------|--|------|
| | Al precio actual del cobre P_m pts/t | + Δ del 10% del precio act. $P_m+10\%$ pts/t % | | - Δ del 10% del prec. act $P_m-10\%$ pts/t % | |
| 0,60 | 162 | 222 | 0,69 | 130 | 0,54 |
| 0,70 | 223 | 292 | 0,81 | 185 | 0,64 |
| 0,80 | 283 | 362 | 0,93 | 240 | 0,73 |
| 1,00 | 404 | 503 | 1,16 | 350 | 0,91 |
| 1,20 | 525 | 644 | 1,40 | 460 | 1,09 |

12.3.4.- Resumen de resultados de los proyectos 1, 2 y 3

En la tabla nº 7 se resumen los resultados obtenidos al analizar la viabilidad económica de los proyectos 1, 2 y 3. En esta tabla se han traducido los valores del mineral, cuando el mercado fluctua en $\pm 10\%$, a ley equivalente en cobre (ver tabla nº 6)

TABLA Nº 7

| PROYECTO | CAPACIDAD | LEY EQUIV. | VIABILIDAD | VIDA MIN. | RESERVAS MIN. |
|----------|-----------|------------|------------|-----------|------------------------|
| Nº | t min/año | % Cu | | años | 10 ⁶ t min. |
| 1 | 100.000 | 0,54 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,60 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,64 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,69 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,70 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,73 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,80 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,81 | NO | - | - |
| 1 | 100.000 | 0,91 | SI | 33,6 | 3,36 |
| 1 | 100.000 | 0,93 | SI | 15,4 | 1,54 |
| 1 | 100.000 | 1,00 | SI | 6,3 | 0,63 |
| 1 | 100.000 | 1,09 | SI | 3,6 | 0,36 |
| 1 | 100.000 | 1,16 | SI | 2,7 | 0,27 |
| 1 | 100.000 | 1,20 | SI | 2,4 | 0,24 |
| 1 | 100.000 | 1,40 | SI | 1,5 | 0,15 |
| 2 | 500.000 | 0,54 | NO | - | - |
| 2 | 500.000 | 0,60 | NO | - | - |
| 2 | 500.000 | 0,64 | NO | - | - |
| 2 | 500.000 | 0,69 | NO | - | - |
| 2 | 500.000 | 0,70 | NO | - | - |

| PROYECTO | CAPACIDAD | LEY EQUIV. | VIABILIDAD | VIDA MIN. | RESERVAS MIN. |
|----------|-----------|------------|------------|-----------|------------------------|
| Nº | t min/año | % Cu | | años | 10 ⁶ t min. |
| 2 | 500.000 | 0,73 | NO | - | - |
| 2 | 500.000 | 0,80 | SI | 11,71 | 5,85 |
| 2 | 500.000 | 0,81 | SI | 9,3 | 4,65 |
| 2 | 500.000 | 0,91 | SI | 4,13 | 2,06 |
| 2 | 500.000 | 0,93 | SI | 3,71 | 1,85 |
| 2 | 500.000 | 1,00 | SI | 2,70 | 1,35 |
| 2 | 500.000 | 1,16 | SI | 1,69 | 0,85 |
| 3 | 1500.000 | 0,54 | NO | - | - |
| 3 | 1500.000 | 0,60 | NO | - | - |
| 3 | 1500.000 | 0,64 | NO | - | - |
| 3 | 1500.000 | 0,69 | SI | 20,37 | 30,56 |
| 3 | 1500.000 | 0,70 | SI | 19,21 | 28,81 |
| 3 | 1500.000 | 0,73 | SI | 10,06 | 15,09 |
| 3 | 1500.000 | 0,80 | SI | 4,82 | 7,23 |
| 3 | 1500.000 | 0,81 | SI | 4,35 | 6,53 |
| 3 | 1500.000 | 0,91 | SI | 2,67 | 4,01 |
| 3 | 1500.000 | 0,93 | SI | 2,55 | 3,83 |
| 3 | 1500.000 | 1,00 | SI | 1,99 | 2,99 |
| 3 | 1500.000 | 1,16 | SI | 1,34 | 2,00 |

12.4.- CONCLUSIONES

El objetivo de este capítulo ha sido determinar - las condiciones límite de explotabilidad de un posible yacimiento de cobre situado en la zona de Arinteiro y con características geológicas y mineras análogas a las del explotado por Rio Tinto Patiño. Para ello se ha supuesto que la ejecución de un proyecto, en las condiciones límite de explotabilidad, debía permitir la recuperación del capital invertido para ponerlo en marcha con sus correspondientes intereses (coste de oportunidad del dinero), sin producir ningún otro beneficio adicional que compensase el riesgo de invertir en el proyecto. Con este supuesto se han analizado la viabilidad económica de varios proyectos adoptando una serie de hipótesis, unas encaminadas a simplificar el problema (inversión a realizar y, costes de operación en función de la capacidad de la instalación, mineral como producto vendible etc) y otras a reflejar las condiciones geo-mineras de la zona (ratio estéril mineral igual a 2:1, costes de concentración y flete, igual sistema de explotación que el de la mina de Arinteiro así como su inversión y - costes de producción como referencia etc). Con todos estos supuestos e hipótesis se ha analizado la viabilidad económica de varios proyectos partiendo de una capacidad de producción de mineral, cuya ley se ha hecho variar así como el precio del cobre metal, y determinando en cada caso los años que debía estar operando la mina para poder recuperar la inversión realizada. De este modo se han determinado las reservas mínimas en diferentes casos, expuestos en el anterior apartado, así como los resultados obtenidos.

En la figura nº 3 se ponfa de manifiesto que teniendo en cuenta únicamente los costes de producción y tratamiento

(concentración, flete, fusión y refinado) el mineral debía tener una ley mínima para que su valor compensase dichos costes para un determinado precio del cobre metal (780,31 libras/t). Pero como el coste de producción depende de la capacidad de la instalación minera y del ratio estéril mineral, las leyes mínimas explotables varían según la capacidad de la instalación minera que se considere y según el ratio estéril mineral del yacimiento.

El límite inferior de la ley explotable está definido por el coste del tratamiento que, suponiéndolo constante, equivale a una ley en cobre de 0,331%. Si se incluye el coste de producción de 20.000 T mineral/año hasta una ley de 0,559% de cobre, para una producción de 5.000.000 t mineral/año. Si existiese un coste adicional de transporte del mineral a un concentrador, situado en un radio de 50 km de la mina estas leyes habrían que incrementarlas en 0,232% de Cu para compensar dicho coste.

El considerar las amortizaciones y gastos financieros significa que las leyes del párrafo anterior deben ser incrementadas para compensar estos costes. Pero estos costes no se producen indefinidamente sino sólo durante el tiempo en que se tarda en recuperar la inversión (vida mínima de la mina). Los cálculos realizados en el apartado 12.3.3 permiten determinar cuál debería ser la vida mínima de tres proyectos de distinta capacidad explotando mineral de varias leyes, y por lo tanto conocer las reservas mínimas que debería tener el yacimiento para que el proyecto fuera viable. Los resultados obtenidos están recogidos en la tabla nº 7 en la que las variaciones de pre

cio del cobre metal, y por lo tanto del valor del mineral, se han transformado en ley de cobre para los precios actuales. Es tos resultados se han representado en la figura nº 5 obteniéndose tres curvas -una para cada capacidad de producción considerada- que indican la ley mínima que deben tener las reservas de un yacimiento para que sean explotables económicamente al ritmo/considerado.

Así pues se puede decir que la explotabilidad de un yacimiento no sólo depende de sus reservas y de su ley -para un precio del cobre metal determinado- sino también del ritmo de extracción, que implica la amortización de unas inversiones y unos gastos financieros.

De la observación de las curvas de la figura nº 5 - y de los datos de la tabla nº 7 se puede decir:

- Para una determinada capacidad de producción de mineral la vida mínima de la mina aumenta al considerar que se explota mineral de ley más baja, - es decir que se tarda más tiempo en recuperar la inversión. Por el contrario, al aumentar la riqueza del mineral se disminuye el tiempo que se tarda en amortizar la inversión.
- Para yacimientos de reservas pequeñas, las instalaciones de pequeña capacidad permiten recuperar leyes más bajas.
- En yacimientos de grandes dimensiones las explotaciones de gran capacidad permiten aprovechar minerales de menor ley.
- Para unas determinadas reservas, la optimización

N.º 303 DIN. A. A. "EXANTON" S.A. P.A.S.A. REGISTRADA

% Cu

1,50

1,00

0,50

1.- m = 100.000 t/año

2.- m = 500.000 t/año

3.- m = 1.500.000 t/año

CURVAS TONELAJE LEY
EN FUNCION DE LA CAPACIDAD
DE PRODUCCION CON $r = 2$

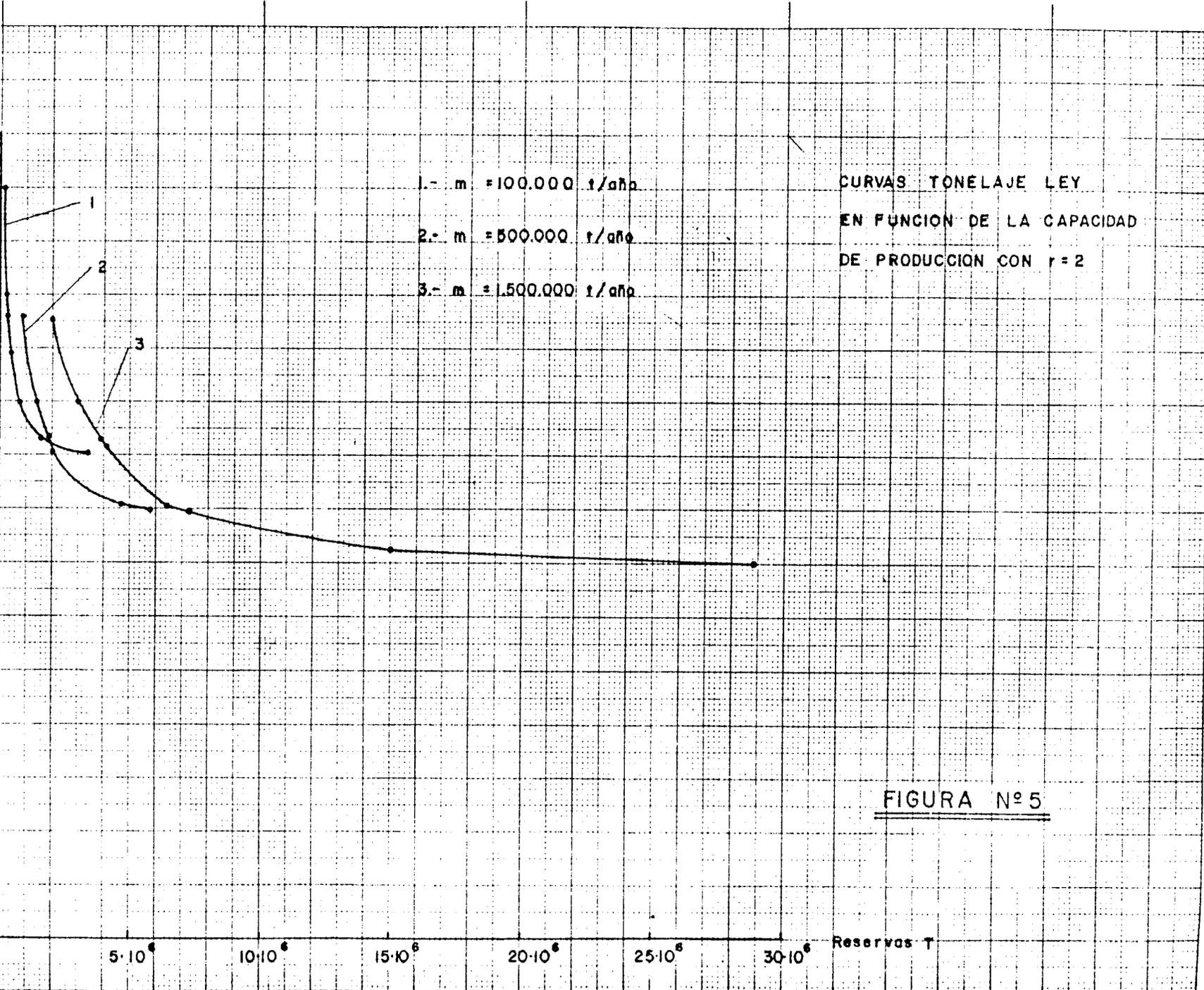


FIGURA N° 5

Reservas T

de la vida de la mina (ó de la capacidad de la instalación) permiten determinar la ley de corte apropiada para ese yacimiento.

- Si existiera un coste adicional (transporte al concentrador) las curvas se desplazarían paralelamente al eje de ordenadas una distancia igual a la ley en cobre equivale a ese coste.
- Si se dibujan las curvas tonelaje ley para otras capacidades, se obtendría una familia de curvas cuya envolvente determinaría el límite inferior de la ley en cobre en función de las reservas del yacimiento. Esta curva sería asintótica a la recta $L = 0,331 \%$ (coste de tratamiento).
- La explotación de un yacimiento de alta ley y reservas pequeñas (vida de la mina corta) implica un alto valor residual del equipo, circunstancia no tenida en cuenta en el estudio

Es evidente que los resultados obtenidos en este estudio son orientativos, no pudiéndose tomar como definitivos para considerar la explotabilidad de un yacimiento real debido a que el mayor conocimiento de sus características y circunstancias particulares puede anular algunas de las suposiciones e hipótesis realizadas. No es necesario insistir que sería necesario realizar un estudio detallado de viabilidad de un yacimiento que se encontrase próximo a la zona límite determinada, tanto si se encuentra por arriba como por debajo.

13 · RESUMEN Y CONCLUSIONES

13.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 1º) Los yacimientos de sulfuros metálicos de los alrededores de Santiago están formados fundamentalmente por concentraciones de pirrotina y calcopirita con pequeñas cantidades adicionales de pirita y esfalerita y están ubicados en anfibolitas polideformadas y polimetamórficas del complejo básico-ultrabásico que constituye el arco de Santiago - Mellid.
- 2º) Existen dos variedades de yacimientos que se ajustan a las características generales referidas en el párrafo anterior:
- a) Yacimientos de pirrotina masiva (con calcopirita) ligados a una fracturación tardía, que alcanzan reservas individuales de cientos de miles de Tm. (Subtipo - Fornás).
 - b) Yacimientos estratiformes y concordantes de pirrotina y calcopirita diseminadas en una anfibolita granatífera megacrística, la cual sólo se encuentra asociada a la mineralización. Alcanza reservas de millones de Tm. (Subtipo Arinteiro).
- 3º) Las anfibolitas que enmarcan los yacimientos de Cu del área de Santiago son (el menos en su inmensa mayoría) ortoanfibolitas atribuidas al Precámbrico, en las que no es posible diferenciar en el campo niveles litológicos premetamórficos. Sin embargo la presencia de minerales tan aluminicos como estauroлита y cordierita en la anfibolita con diseminación de sulfuros de Arinteiro indican la probabilidad de que sea este un nivel metapelítico sedimentario (para-anfibolita).

- 4º) El primer metamorfismo reconocible en las rocas básicas - de la zona estudiada es de facies granulita, y va seguido de dos fases más de grado medio y de una cuarta de carácter anatectico de desarrollo irregular. El proceso finaliza con una quinta y última fase de grado bajo o de tipo hidrotermal, de distribución muy localizada.
- 5º) Los caracteres estructurales de la zona estudiada muestran un complejo proceso integrado por cuatro fases tempranas de deformación que generan pliegues apretados y esquistosidades de flujo, y tres fases tardías de pliegues suaves postesquistosos. Posteriormente sobrevienen diversas etapas de fracturación.
- 6º) Diversas e importantes consideraciones impiden pensar que los yacimientos de cobre del área de Santiago tengan una génesis ortomagmática ni otras características consideradas actualmente como típicas y fundamentales de los depósitos de Ni-Cu de tipo Sudbury.
- 7º) El hecho (ya expuesto en el punto nº 3 de estas conclusiones) de que las mineralizaciones de Arinteiro formen parte fundamental de un nivel lenticular, estratiforme, concordante y plegado en cuya mineralogía están presentes estauroлита y cordierita, (minerales característicos de formaciones metapelíticas) indica que probablemente el nivel en cuestión constituye una alternancia pelítica sedimentaria dentro de las ortoanfibolitas y que en consecuencia las mineralizaciones son probablemente de origen vulcanosedimentario.
-

- 8º) La única alternativa posible al carácter sedimentario-pelítico de la formación estratiforme mineralizada de Arinteiro consistiría en suponer que no sólo los sulfuros, - sino también los minerales aluminicos (estauroлита, cordierita, gedrita) provienen de metapelitas exteriores al complejo metabásico mediante aportes neumatolíticos - hidrotermales, lo cual es menos fácil, sobre todo si se considera que todos los indicios significativos de sulfuros de la comarca se hallan en el complejo metabásico y no fuera de él.
- 9º) Dado que el yacimiento de FORNAS constituye una mineralización masiva ligada a una etapa tardía de fracturación y que la ganga englobada en el mineral masivo contiene entre otros, minerales tan aluminicos como estauroлита, espinela, hercinita y gedrita aluminica, hay que concluir que esta ganga y las mineralizaciones asociadas no pueden haber derivado de las ortoanfibolitas de caja, sino de un nivel metapelítico, removilizadas por un proceso neumatolítico-hidrotermal, o incluso por intrusión plástica (ya que algunos de los minerales aluminicos parecen haber cristalizado en un emplazamiento previo al actual).
- 10º) Las metapelitas de las que proviene la mineralización de Fornás podrian ser externas al complejo anfibolítico, pero si consideramos el probable carácter volcánico - sedimentario de Arinteiro, el origen de las mineralizaciones de sulfuros y su ganga aluminica de Fornás podría hallarse en formaciones vulcano sedimentarias de este estilo, sin necesidad de recurrir a las metapelitas exteriores - al complejo básico, en las cuales no existen indicios -

significativos de mineralizaciones sulfuradas de Fe - Cu. La omnipresencia de distena en los arrastres fluviales - de la zona metabásica estudiada podría relacionarse con la presencia de las citadas intercalaciones metapelíticas.

- 11º) Al margen de la genesis de los yacimientos e indicios de la tipología que nos ocupa, resulta un hecho evidente que se concentran espacialmente en los complejos metabásicos y particularmente en el de Santiago de Compostela, lo - cual indica precisamente a estas formaciones metabásicas como zonas de interés potencial preferente a la hora de programar una campaña primaria de selección de zonas a investigar con mayor detalle.

El total de reservas conocidas con posibilidades actuales o futuras de explotabilidad rentable es de 20 a 25 millones de toneladas con una ley media del orden de 0,6 a 0,8% en Cu.

- 12º) Prospectivamente los yacimientos de pirrotina - calcopirita del área de Santiago de Compostela responden bien a todos los metodos prospectivos usuales, sin embargo - merecen destacarse por su eficacia las técnicas magnetométricas y electromagnetométricas, y la geoquímica (de arrastres fluviales y de suelos). La geología es también util pero debe ajustarse a planteamientos específicos y concretos. La gravimetría resulta menos interesante dadas sus limitaciones topograficas y el bajo contraste de densidad de la roca mineralizada.

13º) El estudio económico del capítulo 12 ha permitido determinar las reservas mínimas que debe tener un yacimiento de cobre (situado en la zona de Arinteiro, explotado a cielo abierto, y al nivel actual del precio del cobre - en el mercado internacional) en función de la capacidad de producción de mineral, de la instalación minera y de la ley del mineral. Se entienden como condiciones mínimas (reservas y ley) aquellas que permiten recuperar la inversión realizada, con sus correspondientes intereses, para poner la explotación en marcha pero sin obtener ningún beneficio adicional que compense el riesgo de invertir en el proyecto minero. Los resultados así obtenidos están indicados en la siguiente tabla:

| LEY % Cu | CAPACIDAD DE PRODUCCION t/año | | |
|-------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| | 100.000 | 500.000 | 1.500.000 |
| | Reservas mínimas t. | Reservas mínimas t. | Reservas mínimas t. |
| 0,69 | NO | NO | 30.560.000 |
| 0,70 | NO | NO | 28.810.000 |
| 0,73 | NO | NO | 15.090.000 |
| 0,80 | NO | 5.850.000 | 7.230.000 |
| 0,81 | NO | 4.650.000 | 6.530.000 |
| 0,91 | 3.360.000 | 2.060.000 | 4.010.000 |
| 0,93 | 1.540.000 | 1.850.000 | 3.830.000 |
| 1,00 | 630.000 | 1.350.000 | 2.990.000 |
| 1,16 | 270.000 | 850.000 | 2.000.000 |
| 1,20 | 240.000 | NC | NC |
| 1,40 | 150.000 | NC | NC |

NO: No explotable

NC: No calculadas las reservas mínimas.

La ley mínima explotable es de 0,69% Cu lo cual exige que el yacimiento tenga unas reservas de 30,56 millones de

t y que se extraigan a un ritmo de 1.500.000 t/año. Esta ley mínima aumenta hasta 0,80% Cu ó 0,91% Cu si el ritmo de extracción disminuye hasta 500.000 t/año y 100.000 t/año respectivamente; en estos dos casos las reservas mínimas explotables son 5 y 9 veces menores que en el primer caso. Es importante resaltar la incidencia que tiene un pequeño aumento de la ley en las reservas mínimas explotables para cada capacidad de producción.

14 · BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

14.- BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AIME.- (1964) Economics of the Mineral Industries. New York.

----- (1973) SME Mining Engineering Hand book. New York

ALFARO, M.A. (1975) Introducción a la Geoestadística Operativa Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Minas. Fundación Gomez Pardo. Madrid.

BAILLY, P.A. (1976) The Problems of Converting Resources to Reserves Mining Engineering.

BENNETT ET AL (1971) Financial Evaluation of Mineral Deposits Using Sensitivity and Probabilistic Analysis Methods United States Department of the Interior. Bureau of Mines.

BOLDT, J.R. (1967) The Winning of Nickel.

BOULODON J.; BERTNEAT M.; JOURDE G. ET HENRI B. (1972). France. 24th I.G.C. Section 4

BRONT, A.A.- (1968). The Pre-Evaluation of the Possible Profitability of Exploration Prospects. Mineralium Deposita Berlin.

CAMBEL, B; JARKOVSKY, J. (1969).- Geochemistry of Pyrrhotite of Various Genetic Types. Geochemia Pyrotinu. Bratislava.

- CANADIAN MINING JOURNAL.- (1974). Reference. Manual and Buyers Guide. Canadá.
- DANA; HURLBUT, J.R.- (1974). Manual de Mineralogia de Dana. Barcelona.
- DEN TEX, E.; ENGELS, J.P.- (1972). A High - Pressure Intermediate - Temperature Facies Series in the Precambrian at Cabo Ortegal (NW Spain). 24th I.G.C, Sec. 2, p. 64-73.
- DONALD, J. BACHINSKI.- (1976). Metamorphism of Cupriferous - Iron Sulfide Deposits, Notre Dame Bay, Newfoundland. Econ. Geol. Vol. 71.
- ENGELS, J.P. (1972).- The catazonal polymetamorphic rocks of Cabo Ortegal (NW Spain), a structural and petrofabric study. Leid. Geol. Med., Deel 48, 1, p. 83-133.
- FERREIRA, M.R.P.- Geologia e petrologia da regio de Rebordeolo-Vinhais. Rev. Fac. Cienc. Univ. Coimbra, Vol. 36 p. 1-287.
- FLOOR, P. (1966).- Los metasedimentos y gneises granfíticos an tehercinianos. Leidse Geol. Med. Deel 36. p. 223-234.
- FRASER ESPAÑOLA, S.A. (1975).- Curso sobre Comercialización de Minerales. Madrid.
- GANGULY J. (1972).- Staurolite stability and parageneses: Theory, experiments, and applications. Journ. of - petr., vol 13, part. 62, pp. 335-365

- GENTRY D.W. AND HREBAR, (1976).- Procedure for determining -
economics of small underground mines. Colorado school
of Mines Mineral Industries Bulletin, Denver.
- HILGEN, J.D. (1971).- The Lalin Unit: A new structural element
in the Hercynian Orogen of Galicia (NW Spain), Ko---
ninkl. Nederl. Akademie van Wetenschappen. Amsterdam.
- HOSCHEK, G. (1969). The stability of staurolite and chloritoid
and their significance in metamorphism of pelitic --
rocks. Contr. Min. and Petr., 22, pp. 208-232.
- HUBREGTSE, J.- (1973). High - grade metamorphic rocks of the
Mellid area, Galicia, NW Spain. Leidse Geol. Med.,
Deel 49, 1, p. 9-31.
- JACOBSEN. J.B.E.- (1975). Copper Deposits in time and Space.
Minerals Sci. Engng. vol. 7, n^o 4.
- JOHNSON A.E.- (1972). Origin of Cyprus Pyrite Deposits. Inter
national Geological Congress. Pg. 291. Montreal.
- JARPA, SG. (1973).- Capital Investment and Operating Cost -
Estimation in open pit mining. Nester of Engineerin.
The Pennsylvania State University
- (1973).- Study Guide. Cost Engineering in the Mine
ral Industry. The Pennsylvania State University.
- KEASBERRY, E. (1976).- Early Palaeozoic mantle diapirism in
Galicia. Tectonophysics, 31, T. 61-65.

KLOCKMANN F; RAMDOHR, P.- (1947).- Tratado de Mineralogía.
Barcelona.

KONING, H. (1966).- Les types de roches basiques et ultrabasi-
ques qu'on rencontre dans la partie occidentale de
la Galice (Espagne). Leidse Geol. Med. Deel 36, p.
235-242.

MAASKANT, P.- (1970).- Chemical petrology of polymetamorphic
ultramafic rocks from Galicia, NW Spain. Leidse Geol.
Med. Vo. 45, p. 237-325.

MACLEAN W.H.; SCHIMAZAKI H.- (1976). The Partition of Co, Ni,
Cu, and Zn between Sulfide and Silicate Liquids. Econ.
Geol. Vol. 71.

MAGNA.- Hoja y memoria 1:50.000 nº 95, El Pino.

NOVITZKY, A. (1975).- Métodos de explotación subterránea y -
planificación de minas. Buenos Aires.

PARGA-PONDAL, I. (1956).- Nota explicativa del mapa geológico
de la parte NO. de la provincia de La Coruña. Leidse
Geol. Med. Vol. 21, p. 467-484.

PELISSONNIER H, MICHEL H. (1972).- Les dimensions des gise-
ments de cuivre du mond..Memories du B.R.G.M.,

PEREDERY W. V.; NALDRETT A.J.; (1976).- Petrology of the U-
pper Irruptive Rocks, Sudbury, Ontario. Econ. Geol.
Vol. 70

- PHAN KIEU DUONG. (1969).- *Dkarns et Mineralisation Associees.*
Chronique des Mines et de la Recherche Miniere, n^o
387.
- PHILPOTT, D.E.- Shangani - A geochemical discovery of a nickel copper sulphide deposit.
- PONIT G. (1976).- *Volcanismes et Mineralizations: Province de Huelva et Autres Exemples en Europe.* Bull. B.R.G.M. (2), 11,3.
- RIBEIRO, A.- (1970). *Position structurale des massifs de Morais et Braganca (Tras - os - Montes).* Com. Serv. - Geol. Portugal. 1970.
- RIES, A.C.; SHACKLETON, R.M. (1971).- *Catazonal Complexes of North-West Spain and North Portugal, Remnants of a Hercynian Thrust Plate.* Nat. Phys. Sci., vol. 234, p. 65-68 y 79
- ROUTHIER P. (1963).- *Les gisements Metallifères. Geologie et principes de Recherche.* Masson. Paris.
- STANTON R.L.- (1972).- *Ore Petrology.* E.E.U.U., Mc Graw-Hill, Inc.
- TATARINOV P.M. (1955).- *Conditions de Formation des Gisements de Minerais.*

- VAN OVERMEEREN, R.A. (1975).- A gravity investigation of the catazonal rock complex at Cabo Ortegal (NW Spain). Tectonophysics, 26, p. 293-307.
- VAN ZUURENA. (1969).- Structural Petrology of an Area near - Santiago de Compostela (NW Spain. Tesis. LEIDEN).
- VOGEL, D.E. (1966).- Las rocas catazonales de la region de Cabo Ortegal. Leidse Geol. Med. Deel 36, p. 243-254.
- (1967).- Petrology of an eclogite- and pyrigarni- te-bearing polymetamorphic rock complex at Cabo Or- tegal, NW Spain. Leidse Geol. Med. Vol. 40, p. 121- 213.
- WARNAARS, F. (1967). Meta-olivine gabbro from Ca- bo Ortegal (NW Spain): a case of incipient eclogiti- zation ? N. Jb. Min. Mh. p. 110-115,
- WAKEFIELD J. (1976).- The Structural and Metamorphic evolu- tion of the Pikwe Ni-Cu Sulfide Deposit, Selebi-Pik- we, Eastern Botswana. Econ. Geol. Vol. 71
- WARNAARS, F. (1967).- Petrography of a peridotite, amphiboli- te and gabbro-bearing polyorogenic terrain NW of San- tiago de Compostela (Spain). Ph. D. thesis, Leiden Univ. 208 p.
- WILMSHURST, J.R.- The weathering products of nickeliferous sulphides and their associated rocks in Western - Australia.

WINKLER H.G.F. (1974).- Petrogenesis of Metamorphic Rocks 3^a
ed.

WOLF, K.H. (1976).- Handbook of Strata-Bound stratiform. Ore
Deposits. Elsevier S.P.Co.