



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

INVESTIGACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS EN GALICIA

VOLUMEN I.- Memoria y Anexos



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Diciembre

11275

**INVESTIGACION DE MINERALES
SILICOALUMINOSOS EN GALICIA**

VOLUMEN I.- Memoria y Anexos

I.T.G.E., 1990

Este estudio ha sido realizado por el Instituto Tecnológico Geominero de España (I.T.G.E.), en régimen de cooperación económica con la Dirección General de Industria de la Xunta de Galicia.

En la realización de este proyecto han intervenido:

José Ma Toyos Sáenz de Miera (Geólogo).- Trabajo de campo y elaboración del informe.

Angel Ferrero Arias (Geólogo).- Director y coordinador del proyecto.

I N D I C E

<u>MEMORIA</u>	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION	1
2. GENERALIDADES	2
3. SITUACION ACTUAL DEL SUBSECTOR	8
4. GENESIS Y TIPOLOGIA DE YACIMIENTOS	11
5. EXPLOTACION Y PROCESOS DE CONCENTRACION	18
6. METODOLOGIA DEL ESTUDIO	21
7. ESTUDIO DE LOS INDICIOS	24
7.1. Zona de O Pino-Touro	24
7.2. Zona de Xuno	40
7.3. Zona de Monteferro-Rosal	47
7.4. Zona de Cabo de Home	65
7.5. Zona de Portonovo	69
7.6. Zona de Verín	72
7.7. Zona de Valadouro	76
7.8. Zona de Oirán	81
7.9. Zona de Rao-Donís	83
7.10. Zona de Cela	86
7.11. Otros indicios	90
8. SINTESIS Y CONCLUSIONES	92
9. BIBLIOGRAFIA	96

ANEXOS

- Anexo I.- Relación de muestras
- Anexo II.- Estudios petrográficos, análisis químicos y mineralógicos
- Anexo III.- Estudio de concentración

1. INTRODUCCION

Con el nombre genérico de "Minerales Silicoaluminosos" se designa a un grupo de silicatos de aluminio constituido por los tres polimorfos del Al_2SiO_5 — andalucita, distena y sillimanita — , la mullita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), el topacio ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH},\text{F})_2$) y la dumortierita ($(\text{Al},\text{Fe})_7\text{O}_3 \cdot \text{BO}_3 \cdot 3\text{SiO}_4$) (IGME 1975e, POTTER 1984, CLARKE et al. 1985, ROSKILL 1987).

De este grupo de sustancias, la que mayor interés posee es, sin duda, la mullita, por su amplia utilización en productos refractarios. Sin embargo, este mineral es muy escaso en la naturaleza y no se conoce actualmente ningún yacimiento de dicha sustancia que pueda ser explotado rentablemente.

Aunque existen diversos procesos para sintetizar la mullita, el método más sencillo y menos costoso de obtenerla es mediante la calcinación de los otros minerales del grupo anteriormente citados. Andalucita, distena y sillimanita son los más frecuentemente utilizados con este fin y se suele hacer referencia a ellos como "Minerales del grupo de la sillimanita" (MUCHART y KOEGEL 1976, CARROLL y MATTHEWS 1983, CLARKE et al., op. cit.).

El presente estudio pretende dar una visión general de los yacimientos de andalucita, distena y sillimanita en el NW de España, y más concretamente, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Galicia, donde existen diversos indicios mineros de estas sustancias y donde se encuentra la única zona en explotación de España.

Se comenzará por comentar una serie de aspectos generales de interés en relación con estos minerales: propiedades, usos, yacimientos y datos de producción, para pasar después a desarrollar lo que es propiamente el estudio de los distintos indicios.

2. GENERALIDADES

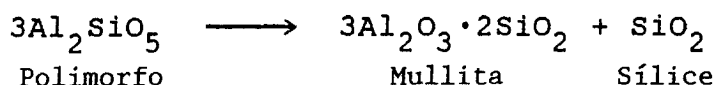
Los tres polimorfos del Al_2SiO_5

La andalucita, la distena o cianita y la sillimanita son tres especies minerales que responden a una misma composición química: Al_2SiO_5 . Corresponden al grupo de los nesosilicatos aluminicos y cada uno de ellos posee una estructura y unas características mineralógicas propias, algunas de las cuales se indican en el siguiente cuadro:

	<u>Andalucita</u>	<u>Distena</u>	<u>Sillimanita</u>
Sistema cristalino:	Ortorrómbico	Triclínico	Ortorrómbico
Hábito:	Prismático	Tabular o prismático	Prismático o fibroso
Color:	Rosa, blanco, gris, violeta, amarillo, verde o de tonos oscuros por efecto de inclusiones	Azul a blanco, gris, verde, amarillo	Incoloro, blanco, grisáceo, amarillo o verde
Densidad:	3,13-3,16	3,53-3,65	3,23-3,27
Dureza Mohs:	6,5-7,5	5,5-7 (variable según la dirección)	6,5-7,5
Variedades:	Quiastolita (con inclusiones grafitosas en forma de cruz) Viridina (con Mn)		Fibrolita (hábito fibroso)

Propiedades y aplicaciones

La propiedad más interesante de estos minerales es, como ya se ha indicado, la capacidad de ser transformados en mullita mediante calcinación, produciéndose la reacción:



La transformación en mullita se inicia a distinta temperatura para cada especie y comporta también diferentes cambios de volumen, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

	<u>T de mullitización</u>	<u>Cambio de volumen</u>
Andalucita:	1.380 °C	+ 5%
Distena:	1.350 °C	+18%
Sillimanita:	1.550 °C	+ 7%

Según esto, resultan claras las ventajas que presenta la andalucita sobre las otras dos especies: no experimenta un incremento de volumen apreciable, como ocurre con la distena, y la T de transformación es notablemente inferior a la de la sillimanita.

Otra propiedad que cabe destacar es la relativa dureza de estos minerales (5,5-7,5), que permite utilizarlos como abrasivos de calidad media.

Se estima que entre el 90% y el 95% de la producción de andalucita, distena y sillimanita se emplea en la fabricación de refractarios de alto contenido en alúmina (o de tipo mullita), utilizados en industrias metalúrgicas, del vidrio, del cemento, cerámicas y petroquímicas (CLARKE et al., op. cit., ROSKILL, op. cit.).

El 5% restante se usa fundamentalmente para productos cerámicos, existiendo otros usos minoritarios como son el de los abrasivos, como fuente para la obtención de aluminio y como gemas.

Especificaciones para productos refractarios

Las características que se requieren en estas materias primas para ser utilizadas en la fabricación de materiales refractarios son las siguientes:

- Composición: Los productos tienen mayor calidad en la medida en que su composición química se aproxima más a la de la mullita (71,8% de Al_2O_3 y 28,2% de SiO_2).

La composición teórica de la andalucita, distena y sillimanita es de 62,92% de Al_2O_3 y 37,08% de SiO_2 , sin embargo, son difíciles de obtener concentrados de estos minerales con más del 60% de Al_2O_3 , salvo que existan impurezas de otros minerales que supongan un aumento del porcentaje de Al_2O_3 (corindón p.e.).

Hay algunas impurezas que inciden negativamente en la resistencia mecánica a altas temperaturas de los materiales refractarios. En general, no se admite un contenido en Fe_2O_3 o en TiO_2 superior al 1,5%. Tampoco son deseables el CaO , MgO , Na_2O y K_2O . El porcentaje total de impurezas debe ser inferior a 3,5%.

En la tabla que aparece a continuación se muestran las relaciones entre composición y propiedades refractarias, según las especificaciones de la norma ASTM para el Grupo II de los refractarios silicoaluminosos.

<u>%Al₂O₃</u>	<u>%SiO₂</u>	<u>%Fe₂O₃</u>	<u>Otras impur.</u>	<u>Refractariedad</u>	<u>T de uso</u>
55	43	1-1.5	1-1.6	1.780°C	1.500°C
60	38	1-1.5	1-1.6	1.810°C	1.600°C
66	32	1-1.5	1-1.6	1.830°C	1.600°C

- Tamaño de grano: Los productos empleados en la fabricación de materiales refractarios tienen tamaños de grano comprendidos entre 0,05 mm y 10 mm. Los tamaños inferiores a éstos suelen destinarse a usos cerámicos.

Los tamaños mayores (>1 mm) son más apropiados para la fabricación de ladrillos refractarios y revestimientos, que requieren una mayor consistencia; mientras que los tamaños pequeños se usan preferentemente para la elaboración de mezclas refractarias, cementos y morteros de alta temperatura.

En los cuadros 2-A, 2-B y 2-C se recogen las características principales de los distintos productos de andalucita, distena y sillimanita que se encuentran el mercado (según datos de CLARKE et al. 1986 y de ROSKILL 1987).

Nombre del producto y compañía	Tamaños	%Al ₂ O ₃	Impurezas
RANDALUSITE 60/09	1-5 mm	60	Fe ₂ O ₃ =0,86%
RANDALUSITE 59/12 (Rand London Andalusite Ltd.)	5-8 mm	59,5	Fe ₂ O ₃ =0,92%
PURUSITE (Weedon Minerals)	0,5-4,0 mm 0-1,0 mm <0,147 mm	59,5	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂ + +Alcalis<1,3%
MACLE (Vereeniging Refractories)		61,6	Fe ₂ O ₃ =0,6%
KERPHALITE KA	0,3-1,6 mm	59,0-59,5	Fe ₂ O ₃ =0,9-1,10% TiO ₂ =0,20-0,28%
KERPHALITE KB (Denain-Anzin Minéraux S.A.)	(45%<0,8 mm)	52-53	Fe ₂ O ₃ =0,9-1,10% TiO ₂ =0,25-0,31%

CUADRO 2-A.- Características de los principales concentrados de andalucita comerciales.

Nombre del producto y compañía	Tamaños	%Al ₂ O ₃	Impurezas
SILLIMANITE Q-GRADE	0,15-0,25 mm	59,5	Fe ₂ O ₃ =0,5% TiO ₂ =0,5%
OR-GRADE (Indian Rare Earths Ltd.)	0,10-0,25 mm	60,3	Fe ₂ O ₃ =0,49% TiO ₂ =0,23%
PELLA SILLIMANITE (Pella Associated Minerals Ltd.)	0-0,25 mm 0-0,76 mm	66,2	
ASSAM SILLIMANITE (Bharat Refracto- ries Ltd.)	0,13-1,00 mm	61	Fe ₂ O ₃ =1% TiO ₂ =1,5%
SILLIMANITE WILLIAMSTOWN (Norseman Gold Mines Ltd.)		50-60	Fe ₂ O ₃ =0,47% TiO ₂ =1,71%

CUADRO 2-B.- Características de los principales concentrados de sillimanita comerciales.

Nombre del producto y compañía	Tamaños	%Al ₂ O ₃	Impurezas
KYANITE (Kyanite Mining Corp.)	35-48-100- -200-325 Mallas Tyler (0,043- -0,417 mm)	61,8	Fe ₂ O ₃ > 0,16%
LAPSA BURU KYANITE (Hindustan Copper Ltd.)		I ≥ 58 II 48-58 III 40-48	
MAHARASHTRA STATE KYANITE (Maharashtra Minerals Corp. Ltd.)		I 58,59 II 54,55 III 50,8	Fe ₂ O ₃ < 0,7%
NORTH KOREA KYANITE	5-200 mm	> 60 58 55	Fe ₂ O ₃ < 1,5%
KYANITE (Grupo Minero Ojea)	0-1 mm 1-3 mm 3-5 mm	56-58	Fe ₂ O ₃ = 0,5-1,5%
BRAZILIAN KYANITE (Cianita Serra das Araras Ltda.)	35-100-200 Mallas Tyler (0,043- -0,074 mm)	≥ 59	Fe ₂ O ₃ ≤ 0,7% TiO ₂ ≤ 1,5% CaO+MgO ≤ 0,5%

CUADRO 2-C.- Características de los principales concentrados de distena comerciales.

3. SITUACION ACTUAL DEL SUBSECTOR

Los principales países productores de estas sustancias son, por este orden, Sudáfrica, EE.UU., Francia e India, estimándose para la U.R.S.S. una producción intermedia entre la de India o Francia y la de EE.UU. En la Figura 3-1 se presentan los datos de producción global y de cada uno de los países citados, entre 1975 y 1985.

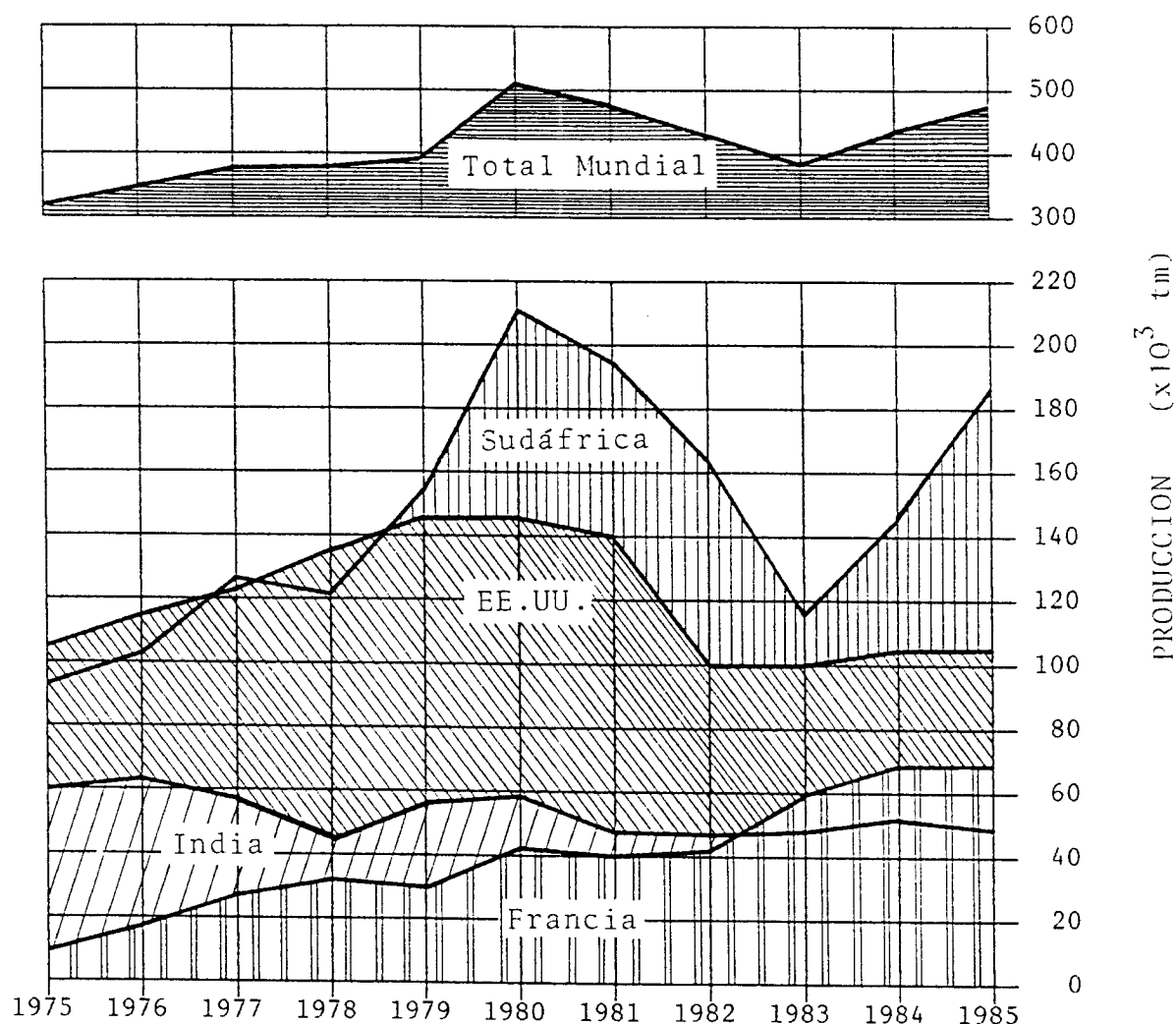


Fig. 3-1.- Producción de andalucita, distena y sillimanita. Datos globales y de los principales países productores. No aparece representada la U.R.S.S., para la que se estima una producción intermedia entre la de India y EE.UU. (Datos según CLARKE 1985 y ROSKILL 1987).

La producción española es actualmente inferior al 1% del total mundial y procede en su totalidad de las explotaciones de distena en el área de O Pino-Touro (A Coruña). La evolución de dicha producción en los últimos años y su comparación con las cantidades importadas y exportadas se muestran en los gráficos de la Figura 3-2.

En cuanto a los precios de estos productos en el mercado internacional, puede decirse que presentan una notable estabilidad, manteniéndose prácticamente invariables desde 1981. En el Cuadro 3-A se recogen algunos de ellos.

SUSTANCIA	ORIGEN	CARACTERISTICAS	PRECIO	
Andalucita	Transvaal	57% Al_2O_3	90-100 £/t 17.000-20.000 ₧/t	CIF princip. puertos europeos
"	"	60% Al_2O_3	130 £/t 25.000 ₧/t	
Sillimanita	Sudáfrica	70% Al_2O_3	190 £/t 36.000 ₧/t	
Cianita	EE.UU.	59-62% Al_2O_3 En bruto o calcín.	90-155 £/t 18.000-30.000 ₧/t	FOB en plantas
"	"	En bruto	70-137 \$/t 8.000-14.000 ₧/t	
"	"	Calcínada	123-172 \$/t 12.000-18.000 ₧/t	

CUADRO 3-A.- Precios de la andalucita, distena y sillimanita (según datos de Industrial Minerals, febrero/1990). Los precios en pesetas son aproximados.

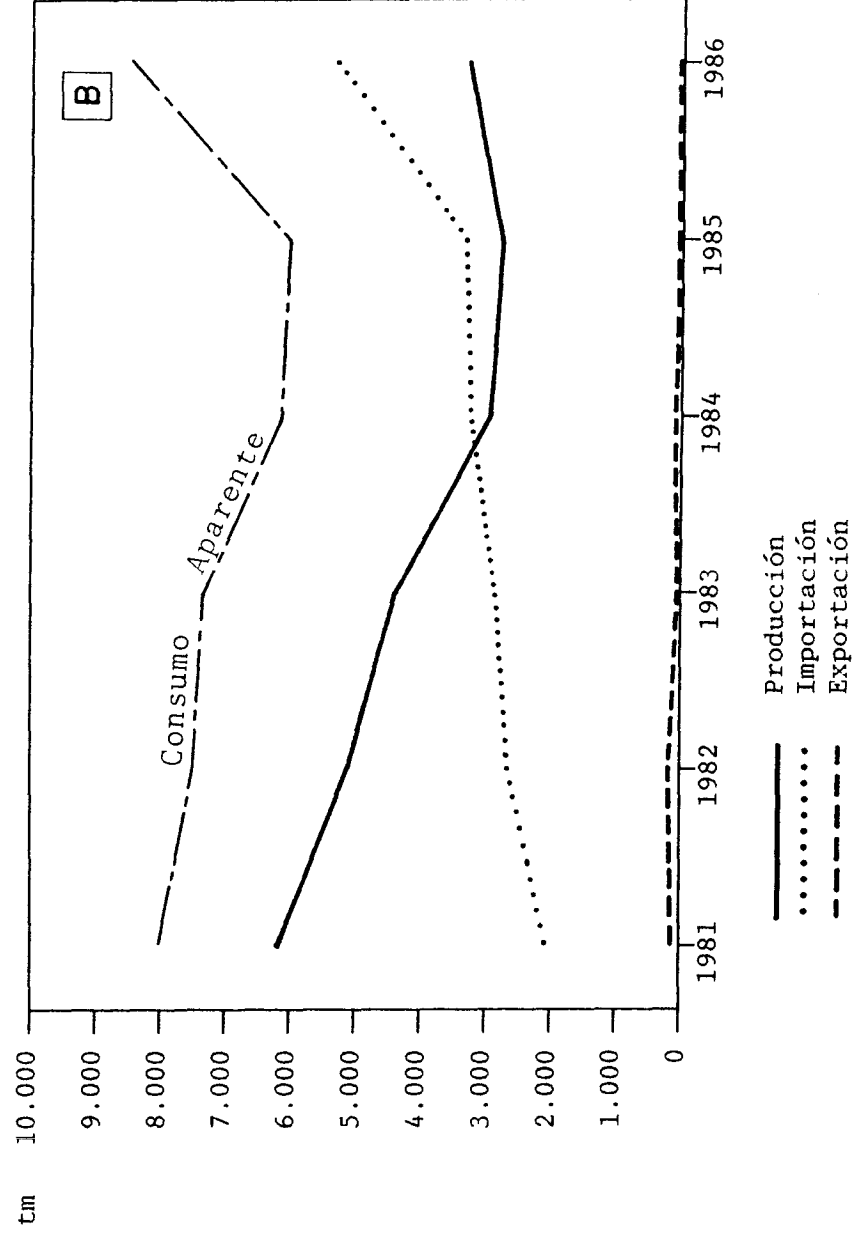
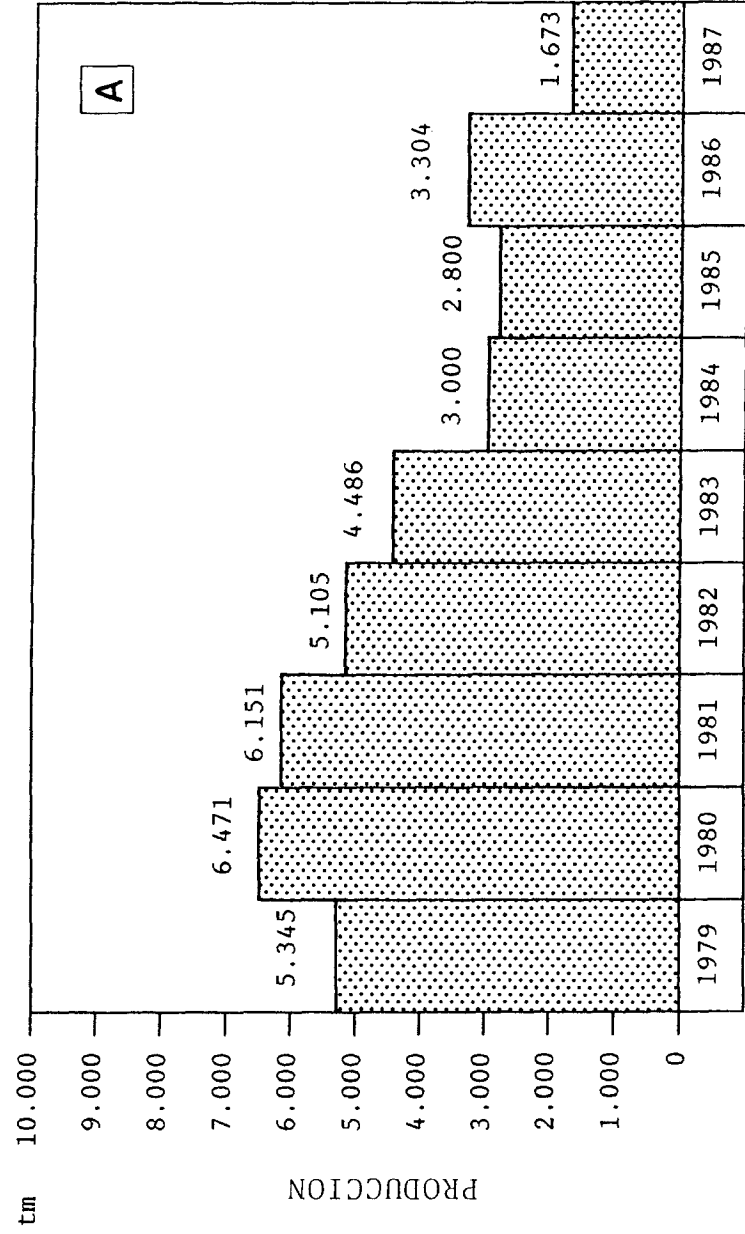


Fig. 3-2.- A). Producción española de distena entre 1979 y 1987.

B). Evolución comparativa de la producción, importación y exportación de minerales silicoaluminosos en España entre 1981 y 1986.

(Según datos de la Estadística Minera de España y la Estadística del Comercio Exterior de España).

4. GENESIS Y TIPOLOGIA DE YACIMIENTOS

Aspectos generales

La andalucita, la distena y la sillimanita son minerales originados típicamente por procesos metamórficos en rocas con cierto contenido en SiO_2 y Al_2O_3 (lutitas y grauvacas principalmente), aunque también pueden ser encontrados en pegmatitas y asociados a venas de segregación de cuarzo (DEER et al. 1962).

La presencia de uno u otro polimorfo en una roca metamórfica de composición adecuada depende de las condiciones P-T a las que haya estado sometida. De este modo, tenemos que, tal como puede deducirse del diagrama de la Figura 4-1, la andalucita suele aparecer en áreas con metamorfismo de grado bajo, medio y alto y presión baja a intermedia (aureolas de metamorfismo de contacto y zonas de metamorfismo regional), mientras que la distena aparece más frecuentemente en áreas de metamorfismo regional de grado bajo a medio y presión intermedia a alta. La sillimanita es un mineral característico de zonas con metamorfismo de grado medio-presión intermedia y de grado alto.

También es posible la sustitución de un polimorfo por otro al variar las condiciones de P-T, y la aparición de varias especies juntas por existir condiciones próximas al equilibrio o por la permanencia de alguna de ellas en estado metaestable (WINKLER 1978).

Tipos de yacimientos

Puede hacerse una clasificación de los distintos yacimientos de andalucita, distena y sillimanita que se conocen actualmente agrupándolos en los siguientes tipos:

I. METAMORFICOS

Son yacimientos de origen primario que pueden localizarse tanto en áreas con metamorfismo regional como en aureolas de metamorfismo de contacto.

De acuerdo con su morfología, pueden ser:

- a).- Dispersos o diseminados
- b).- En cuerpos o agregados masivos
- c).- Asociados a venas o filones de cuarzo

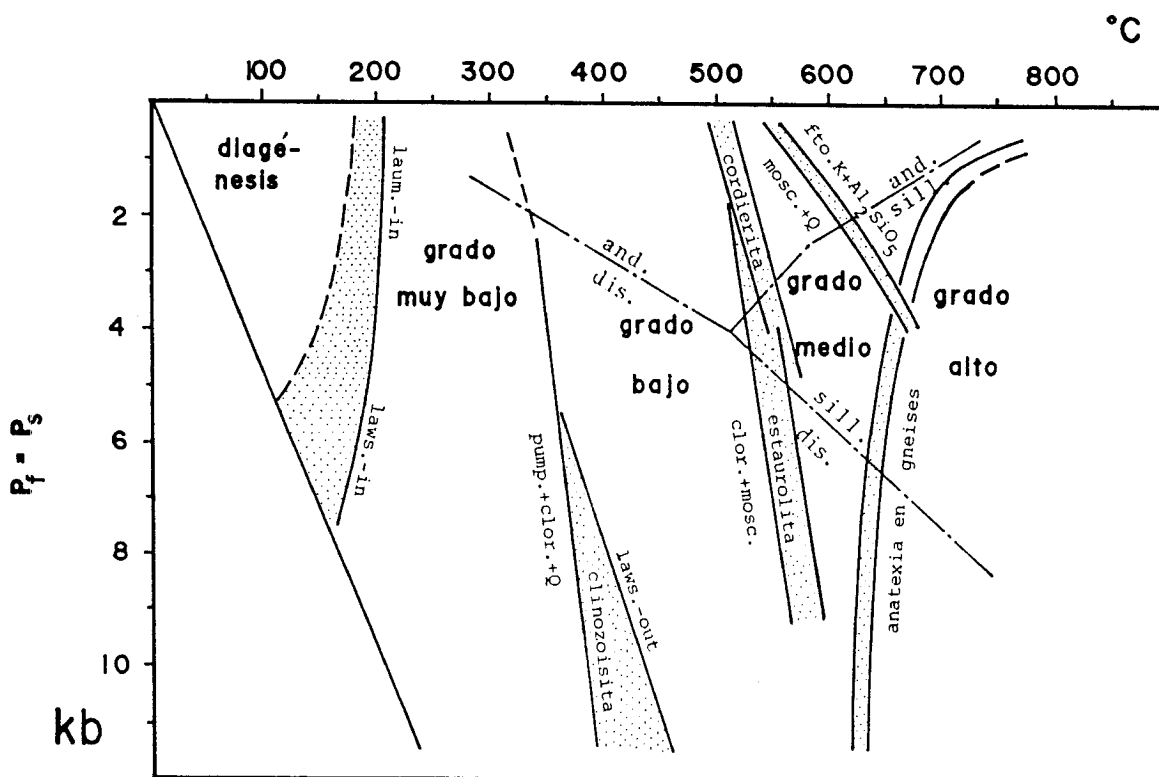


Fig. 4-1.- Grados metamórficos (WINKLER 1978) y diagrama de fases para el Al_2SiO_5 (ROBIE y HEMINGWAY 1984).

II. SEDIMENTARIOS

Son depósitos secundarios originados por concentración mecánica (placeres) a partir de áreas fuente donde aparecen estos minerales. Puede tratarse de varios tipos de depósito:

- a).- En coluviones
- b).- En aluviones
- c).- En arenas de playa

III. RESIDUALES

Se trata también de depósitos secundarios en los que la concentración de estos minerales se ha producido como consecuencia de procesos de meteorización y erosión de los otros constituyentes de la roca menos resistentes.

Principales yacimientos

Se hace a continuación una breve descripción de los principales yacimientos de andalucita, distena y sillimanita que se explotan actualmente en el mundo.

ANDALUCITA

Sudáfrica: Los depósitos consisten en pizarras con andalucita pertenecientes a las tres formaciones inferiores del Grupo Pretoria: Timeball Hill, Daspoort y Magaliesberge, en el ámbito de la aureola metamórfica asociada al Complejo ígneo de Bushveld. También existen depósitos aluviales derivados de dichos materiales.

- En Thabazimbi (NW Transvaal), la empresa Weedon Minerals (Pty) Ltd. posee la explotación más importante en la actualidad. Se explotan rocas de la Fm. Timeball Hill en las que aparecen porfiroblastos de andalucita de hasta 4 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El contenido medio en andalucita es de 10-15%.
- En Lydenburg (NE Transvaal), se encuentra la explotación de Wolkberg, perteneciente a la compañía Rand London Andalusite Ltd. En este caso, las pizarras con andalucita pertenecen a la Fm. Daspoort, con un espesor de 60 m, presentando cristales de hasta 10 mm de longitud.

En esta misma zona, la empresa Verref Mining (Pty) Ltd. posee la explotación de Havercroft, también en pizarras de la Fm. Daspoort con un contenido en andalucita de 7-8% y en depósitos aluviales asociados. La explotación de Krugers Post, de Cullinan Minerals (Pty) Ltd., se sitúa en un tramo de pizarras correspondiente a la Fm. Magaliesberge, con 14 m de potencia y un contenido medio en andalucita de 8-9%.

- En Groot Marico (W Transvaal), la compañía Purity Minerals (Pty) Ltd. posee la explotación de Kleinfontein, en la que se extrae la andalucita de los depósitos aluviales originados a partir de materiales de la Fm. Daspoort. El contenido en andalucita es de 10-60%.

Francia:

- En Glomel (Bretaña), la empresa Denain-Anzin Minéraux S.A. (DAM) explota unos esquistos ordovícicos en los que aparecen cristales prismáticos de andalucita con un diámetro de 1-4 mm y una longitud de varios cm. El contenido medio en andalucita es del 15%.

DISTENA

EE.UU.:

- Se explotan cuarcitas con distena en la región de Piedmont (Apalaches), a lo largo de una zona que se extiende desde el NE de Georgia, a través de Carolina hasta el SE de Virginia.

Las cuarcitas tienen contenidos de 15-40% de distena y corresponden a una unidad denominada Volcanic Slate Belt, integrada por metavulcanitas y metasedimentos.

Las únicas explotaciones activas actualmente son las de East Ridge y Willis Mountain, en Virginia, de la empresa Kyanite Mining Corp.

India:

- En Lapsa Buru (Singhbhum - Bihar State), se explotan granulitas con Cuarzo y distena, y depósitos con bloques de distena de hasta varias tm que se encuentran a profundidades de 1,2 a 1,5 m. La compañía minera es Hindustan Copper Ltd.
- En Maharashtra State también existen varias explotaciones, como la de Pardi District (Bhandara), en la que la distena se encuentra en agregados masivos asociados a cuarcitas y micaesquistos precámbricos.

Brasil:

- En las cercanías de Santa Terezinha de Goias, existe una explotación perteneciente a Cianita Serra das Araras Ltda. En ella se extraen bloques de distena enterrados a poca profundidad.

Australia:

- En el área de la Bahía de Eneabba-Jurien la empresa Allied Eneabba (Pty) Ltd. produce ilmenita, rutilo, circón y distena concentrados a partir de arenas de playa.

Suecia:

- El yacimiento de Halsjoberg (Varmlandia) comenzó a explotarse en 1985 por Svenska Kyanite AB. Se trata de cuarcitas precámbricas finamente estratificadas y homogéneas, con un contenido medio de distena del 30%.

SILLIMANITA

India:

- En el Distrito de Bhandara (Maharashtra State Mining Corp.), la compañía Maharashtra State Mining Corp. explota un depósito con bloques de esquistos con sillimanita-cuarzo-moscovita.
- Los yacimientos de Khasi Hills (Assam), explotados por Bharat Refractories Ltd., consisten en grandes bloques (de hasta 300 tm) de sillimanita masiva contenidos en suelos.
- En los estados de Kerala, Tamil Nadu y Orissa, la empresa estatal Indian Rare Earths Ltd. (IRE) obtiene sillimanita como un subproducto del proceso de concentración de ilmenita y rutilo a partir de arenas de playa. También se obtiene monacita, circón, granate y cuarzo. Los contenidos en sillimanita son de 2-3% en Tamil Nadu y Orissa, y de 4-8% en Kerala.

Australia:

- En Williamstown (Adelaide - S Australia), se encuentran las explotaciones de Mount Crawford y Springfield, pertenecientes a Norseman Gold Mines (Pty) Ltd. Se trata de rocas del Complejo Metamórfico de Barossa (Proterozoico), principalmente cuarzoesquistos con moscovita y biotita, gneises con sillimanita y cuarcitas con sillimanita y con distena, rutilo y granate accesorios.

Aparecen segregaciones de morfología columnar de sillimanita, distena, rutilo y granate. Una cierta actividad hidrotermal, probablemente relacionada con la intrusión de pegmatitas, ha producido la caolinización parcial de la sillimanita y la moscovitización de la distena.

Sudáfrica:

- En Namaqualand (Cape Province), en torno a la localidad de Pella, existen varias explotaciones en esquistos con corindón y sillimanita intensamente deformados, pertenecientes al Kheis System. La sillimanita y el corindón se presentan con intercrecimientos, apareciendo también pequeñas venas irregulares de sillimanita pura; estos minerales suelen concentrarse en los núcleos de pliegues. El contenido medio en sillimanita es de 53%.

5. EXPLOTACION Y PROCESOS DE CONCENTRACION

Tras haber examinado las características de los principales yacimientos en explotación, puede concluirse que para que sea rentable la explotación de un determinado yacimiento se necesita una ley mínima del 10% de Al_2SiO_5 , aunque con leyes inferiores cabe también un aprovechamiento de estos minerales como subproducto del proceso de concentración de otras sustancias (como ocurre, por ejemplo, en la explotación de arenas de playa).

La explotación suele realizarse a cielo abierto, empleándose métodos diversos para la extracción según el tipo de material de que se trate.

Además de las leyes y el volumen de recursos, otro factor fundamental con el que hay que contar para el aprovechamiento de un yacimiento de estos minerales es la puesta a punto y optimización de un proceso de concentración que permita la obtención de un producto comercial con un adecuado rendimiento.

Por lo general, los procesos utilizados para la concentración de la andalucita, distena o sillimanita comienzan con una trituración, molienda y clasificación del material, para pasar después a un proceso en el que se combinan métodos de separación gravimétrica (medios densos) o, menos frecuentemente, por flotación, con una separación magnética de alta intensidad.

En las Figuras 5-1 y 5-2 se recogen, como ejemplos representativos, los esquemas correspondientes a los procesos de concentración de andalucitas en las plantas de tratamiento de Sudáfrica y de Glomel (Francia).

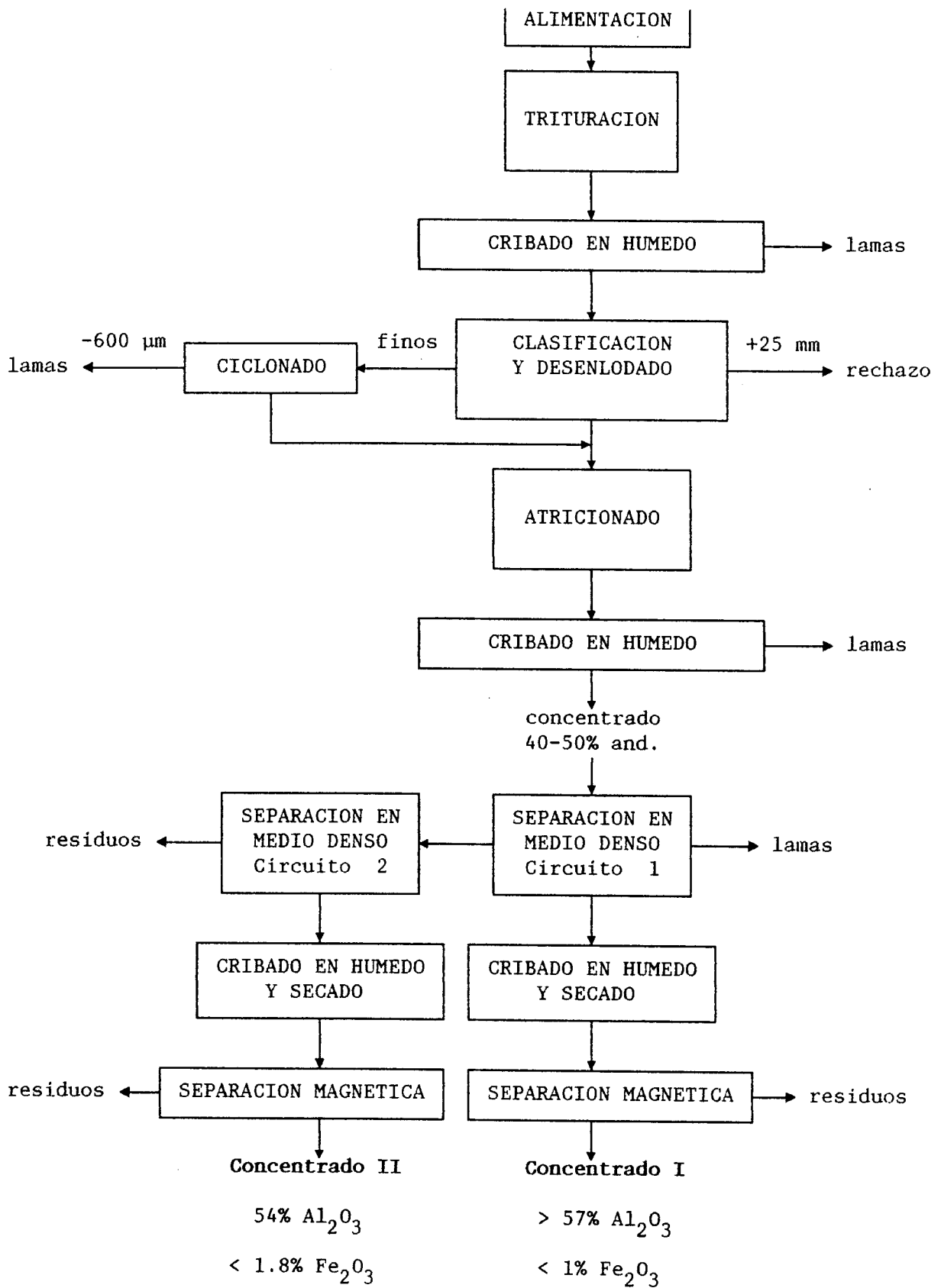


Fig. 5-1.- Diagrama de flujo standard de una planta de tratamiento de andalucita en Sudáfrica (Según CARROLL y MATTHEUS 1985, modificado).

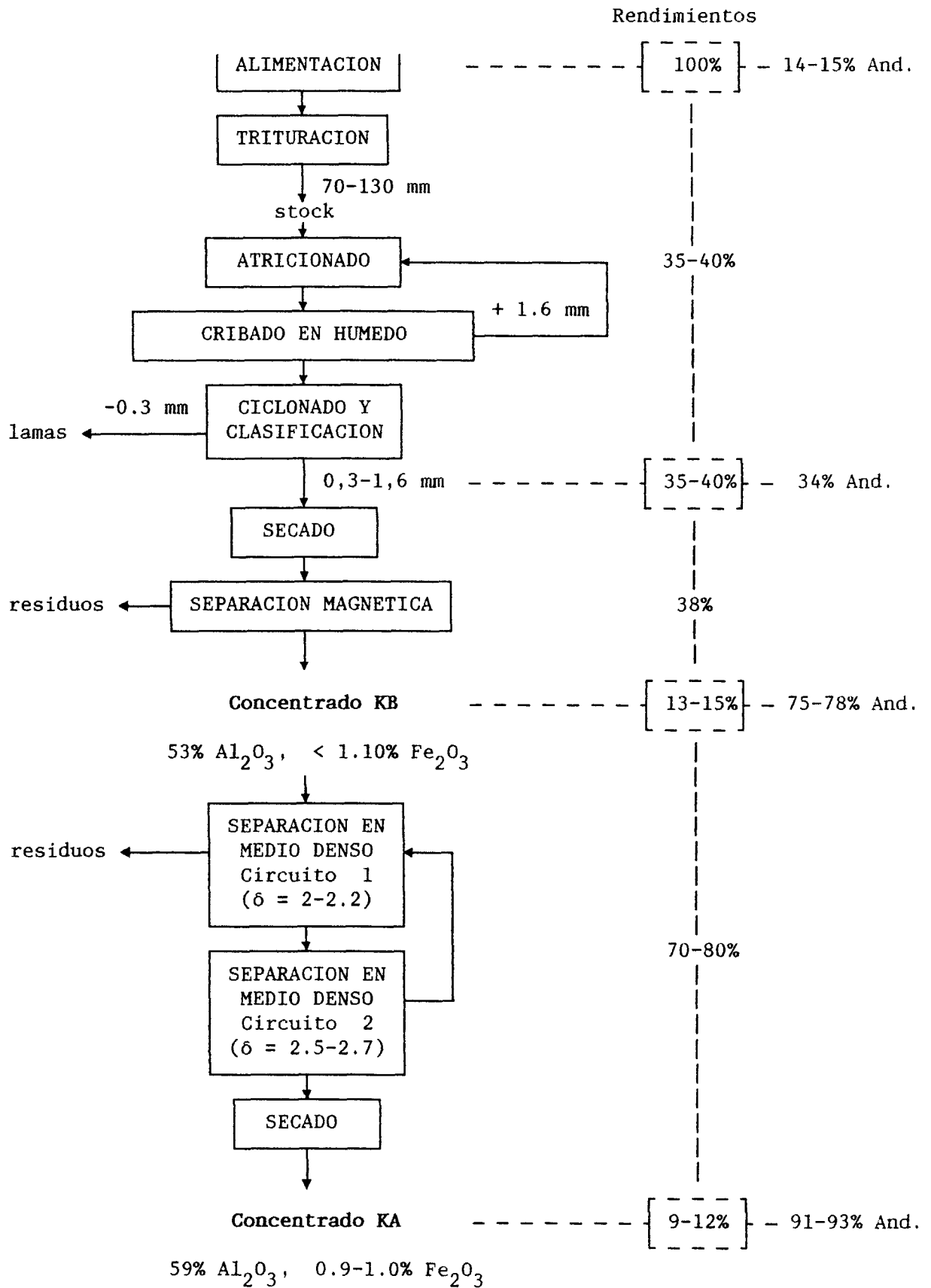


Fig. 5-2.- Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de andalucita de DAM S.A., en Glomel (Francia). (Basado en MUCHART y KOEGEL 1976).

6. METODOLOGIA DEL ESTUDIO

Se ha comenzado el trabajo con una revisión de toda la documentación disponible que pudiera aportar datos acerca de indicios mineros o zonas en las que existiese una cierta abundancia de estos minerales.

Las fuentes fundamentales que se han tenido en cuenta en este sentido han sido:

- El Mapa Minero-Metalogénico de Galicia E.1:400.000 (IGME 1982), en el que se señalan 9 indicios (5 de distena y 4 de andalucita).
- El Mapa Metalogénico de España E.1:200.000, hojas de Santiago de Compostela (7) (IGME 1975a), Lugo (8) (IGME 1975b), Pontevedra-La Guardia (16-26) (IGME 1975c) y Orense (17) (IGME 1975d), en el que aparecen 9 indicios de andalucita que, en parte, coinciden con los anteriores.
- El proyecto de "Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste" (IGME 1977), en el que se hace referencia a diversas zonas en las que aparece andalucita, distena y sillimanita.
- Por último, se ha consultado también en las correspondientes Secciones Provinciales de Minas la situación actual de las concesiones mineras y permisos de investigación en relación con estos minerales.

La única actividad minera registrada en estos momentos es la que tiene lugar de modo intermitente en el área de O Pino-Touro (A Coruña), aunque existen varias concesiones y permisos de investigación en los que parece viable la puesta en marcha de nuevas explotaciones.

A continuación, se ha procedido al reconocimiento de todos los puntos y áreas con indicios, con el fin de realizar una caracterización previa de cada uno de ellos y determinar su interés potencial en función de la calidad y cantidad del mineral existente. En esta primera etapa, se han tomado muestras superficiales para su posterior estudio mediante microscopio petrográfico, análisis químico y difracción de R-X.

De este modo, se ha llegado a la delimitación de 10 zonas de interés potencial para ser estudiadas en detalle, que son las que aparecen indicadas en el Plano Nº 1. También se señalan en dicho plano otros indicios puntuales de menor interés. Se ha prescindido de varios indicios recogidos en la bibliografía que no han podido ser localizados.

Las 10 zonas de interés potencial se han denominado del siguiente modo:

<u>Nombre de la zona</u>	<u>Mineral</u>
1. O Pino-Touro	Distena-Sillimanita
2. Xuno	Andalucita
3. Monteferro-Rosal	"
4. Cabo de Home	"
5. Portonovo	"
6. Verín	"
7. Valadouro	Sillimanita
8. Oirán	Andalucita
9. Rao-Donís	"
10. Cela	"

En la segunda fase de la investigación se pretendía desarrollar un estudio más detallado de cada una de estas zonas, que permitiera conocer con precisión las características y distribución de las mineralizaciones, con el fin de valorar su interés minero. Sin embargo, estos objetivos sólo se han

cubierto parcialmente, de modo que el nivel de conocimiento alcanzado no ha sido el mismo en todas las zonas.

Las zonas en las que más se ha profundizado han sido las tres primeras: O Pino-Touro, Xuno y Monteferro-Rosal, en las que se han realizado cartografías geológico-mineras a escala 1:10.000. En el resto de las zonas sólo se han llevado a cabo algunos reconocimientos de campo y muestreos.

En las mineralizaciones que se han considerado más interesantes se han tomado muestras de 15-25 kg para realizar ensayos de concentración, cuyos resultados se encuentran recogidos en el Anexo III.

7. ESTUDIO DE LOS INDICIOS

7.1. Zona de O Pino-Touro

Situación y características geográficas

Esta zona comprende un sector bastante amplio situado al E de Santiago de Compostela, abarcando una gran parte de la Hoja Nº 95 del M.T.N. (San Marcos) y la parte N de la Hoja Nº 121 (A Estrada), (provincias de A Coruña y Pontevedra). (Ver Plano Nº 1).

Se trata de un área con relieve irregular, en general bastante suave, con extensas áreas cubiertas de bosque —principalmente de eucalipto— y numerosas pequeñas poblaciones.

Por el N y el S de la zona discurren los ríos Tambre y Ulla respectivamente, con trazados meandriformes notablemente encajados.

Rasgos geológicos generales

La zona se sitúa en la parte S del Complejo de Ordenes (GONZALEZ LODEIRO et al. 1982, MARTINEZ CATALAN et al. 1984), dentro de la Unidad de Carballo-El Pino (DIAZ GARCIA 1988) que es la unidad alóctona más superior y de mayor extensión del Complejo. Dicha unidad está integrada esencialmente por metabasitas y metasedimentos, siendo estos últimos los más abundantes. (Ver Lámina 7-1).

La secuencia metasedimentaria (Esquistos de Ordenes) está constituida por esquistos y paragneises derivados de lutitas y grauvacas.

Estos materiales han sido afectados por tres fases de deformación principales en la Orogenia Herciniana. La segunda fase (D_2), relacionada con el emplazamiento de estas unidades alóctonas, es la que ha dado lugar a la foliación principal que se observa en la zona. La tercera fase (D_3) produce un replegamiento suave de las anteriores estructuras.

La evolución metamórfica de estas rocas presenta un primer episodio de presión intermedia en el que se llega a alcanzar el grado medio (pre- a sincinemático respecto a D_2), una retrogradación intensa posterior, y un episodio de alta temperatura y baja presión con desarrollo local de migmatización (DIAZ GARCIA op. cit.).

Antecedentes

En la bibliografía aparecen citados dentro de esta zona hasta siete puntos de indicio de distena, habiendo existido explotación en casi todos ellos.

Existen actualmente diversas concesiones de explotación en la zona y se tienen también referencias de otras concesiones antiguas (ver Plano Nº 2). Las labores mineras son llevadas a cabo exclusivamente por el Grupo Minero Ojea, propietario de la mayor parte de las concesiones, que extrae la distena en forma de cantos y bloques contenidos en depósitos aluvio-coluviales de poco espesor. Esta empresa dispone de varios informes inéditos sobre las mineralizaciones de distena, que han podido ser consultados al hacer este estudio.

En 1981 se realizó un estudio de caracterización y ensayos de purificación de la distena que aparece en este sector, por CAMPILLO et al.

Trabajos realizados en la zona

Se ha iniciado la exploración con el reconocimiento de todos los puntos de indicio y se han realizado una serie de recorridos, principalmente en el ámbito de la Hoja Nº 95 (San Marcos), con el fin de delimitar las áreas en las que aparece distena.

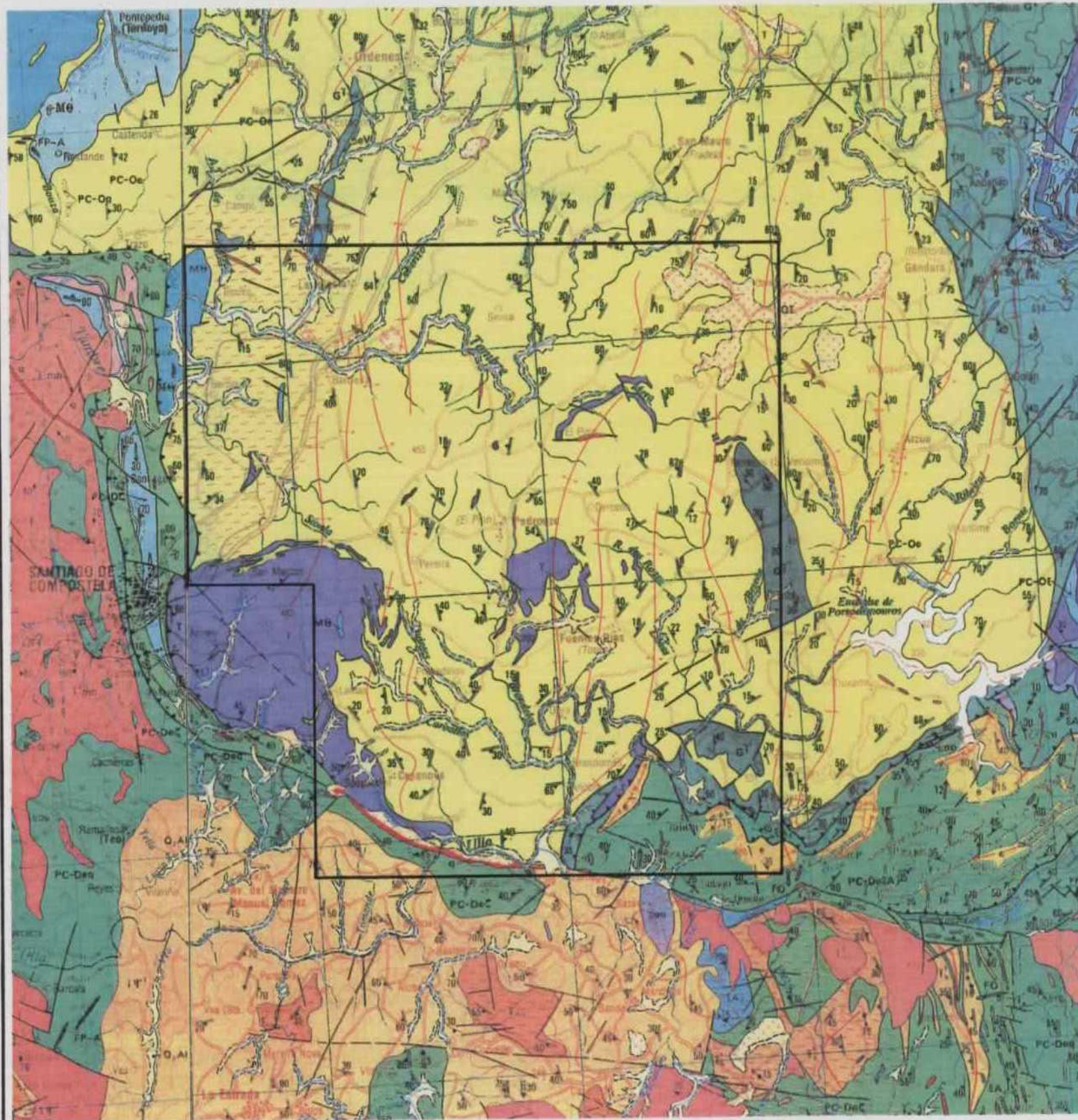
En el Plano Nº 2 se contienen las principales áreas con yacimientos de distena, que, básicamente, se circunscriben al sector delimitado por el perímetro de las concesiones mineras. En dicho plano se indican también los puntos más importantes en los que se ha explotado la distena y el sector sobre el que se ha realizado cartografía geológico-minera a escala 1:10.000 (Planos Nº 3-A y 3-B); este sector abarca unas 5.600 ha, y en él se han señalado los distintos tipos de mineralización de distena que aparecen.

Se han tomado muestras de fragmentos de distena hallados en suelos, de cantos contenidos en coluviones y de esquistos y paragneises para realizar estudios mineralógicos y análisis químicos.

También se han tomado tres muestras de 25 kg para la realización de ensayos de concentración. Estas muestras corresponden a un preconcentrado de distena en bruto (C-1), y a los rechazos que se obtienen en el proceso de pre-concentración (C-2 y C-3).

Características de las mineralizaciones

En esta zona existen mineralizaciones de distena tanto de origen primario como secundario, aunque sólo estas últimas han sido objeto de explotación.



LEYENDA

CUATERNARIO	QAI	QC	QT	QM	QI	QI	Indiferenciado
						OM	Marrismas
TERCIARIO						QT	Terrazas
						QC	Coluviones
						QAI	Depósitos aluviales y fondos de vaguada
						O-T	Gravas y arenas
						T	Arcillas, arenas y gravas

DOMINIO DEL COMPLEJO DE ORDENES

PRECAMBRICO - ORDOVICICO			PC-Oe	ESQUISTOS DE ORDENES. Esquistos, metagrauw.
			f	Filitas verdes
			eV	Esquistos grafitosos
			T	Metabasitas en facies anfibolita
			Zo	Rocas ultramáficas, generalmente serpentinizadas

ROCAS INTRUSIVAS

	M6	Metagabros
	G1	Ortogneises glandulares

DOMINIO ESQUISTOSO DE GALICIA CENTRAL

PRECAMBRICO - DEVONICO Predominantemente Ordovícico - Devónico			PC-Deq	Esquistos micáceos, grafitosos y cuarcíticos
			T ₂	Cuarcitas
			EA	Anfibolitas oscuras
			MV	Metavulcanitas ácidas
			T ₁	Cuarcitas negras, liditas y ampelitas

ROCAS GRANITICAS PREHERCINICAS

	T _{2a}	Ortogneis de dos micas
--	-----------------	------------------------

ROCAS GRANITICAS HERCINICAS

	T _{2b}	Granitos de dos micas
--	-----------------	-----------------------

MIGMATICAS

	Y	Metatexitas, diatexitas y granitoide inhomogéneo
--	---	--

ROCAS FILONIANAS

	c	Diabasas
	q	Cuarzo
	FO	Pórfidos y microgranitos porfídicos
	FP	Pegmatitas y apitas

DIBUJADO	INVESTIGACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS EN GALICIA
FECHA DIC./90	LAMINA 7-1- MAPA DE SITUACION DE LA ZONA DE O PINO - TOURO
AUTOR	
ESCALA 1:200.000	



Instituto Tecnológico Geominero de España

a).- Mineralizaciones de origen primario

Es frecuente en algunos sectores la aparición de venas de exudación de cuarzo en los Esquistos de Ordenes. La distena aparece asociada a algunas de estas venas, que suelen ser subparalelas a la foliación principal y afectadas por ella, con morfología lenticular (ver Fotografía 1), presentando a veces pliegues de fase 2. También aparecen a veces venas de distena masiva (ver Fotografía 2). Estas venas y filones tienen dimensiones de orden centimétrico a métrico.

La distena se presenta en forma de agregados esferoidales y prismas de sección cuadrada de color gris azulado a gris verdoso claro, con tamaños de orden centimétrico a decimétrico (excepcionalmente pueden ser de orden métrico). El hábito que poseen indica que se trata de un pseudomorfismo de cristales de andalucita, que debió ser el mineral formado originariamente en los filones, en un episodio metamórfico precoz del que apenas se tienen referencias, habiéndose transformado posteriormente en distena durante un episodio metamórfico en condiciones de presión más elevada (episodio pre- a sin-fase 2).

En lámina delgada, la distena aparece en forma de agregados de pequeños cristales subautomorfos a xenomorfos. También se observa la presencia de sillimanita que reemplaza a la distena y suele formar haces radiales; sin embargo, este mineral no ha sido detectado mediante los análisis por difracción de R-X, a pesar de que en algunas muestras parece ser el componente más abundante. Asociada a los pseudomorfos de distena suele aparecer también moscovita.

A partir de los resultados del análisis químico de dos muestras de estos agregados de distena, se ha obtenido la siguiente composición media:



Fotografía 1.- Aspecto de un filón de cuarzo con distena (O Pino).



Fotografía 2.- Venas lenticulares de distena masiva (Torréis de Arriba).

SiO ₂	37,72	%
Al ₂ O ₃	58,33	%
Fe ₂ O ₃	0,567	%
CaO	0,151	%
TiO ₂	0,057	%
K ₂ O	1,387	%
Na ₂ O	0,411	%
MgO	0,099	%
PPC	1,28	%

TOTAL: 99,995 %

En la cartografía realizada (Planos 3-A y 3-B) puede observarse la relación espacial que existe entre este tipo de mineralizaciones y los cuerpos de anfibolitas intercalados en los Esquistos de Ordenes. Los filones con distena aparecen solamente en los tramos de esquistos y paragneises que se encuentran próximos a los contactos de dichos cuerpos, aunque existen también niveles de anfibolitas en relación con los cuales no aparecen mineralizaciones.

La escasez de afloramientos dificulta la observación directa de este tipo de filones que, en general, deben tener potencias inferiores a 1 m. En aquellos puntos en los que han sido vistos in situ, las venas de cuarzo con distena mostraban espesores de orden centimétrico a decimétrico y un desarrollo lateral de orden decimétrico a métrico, apareciendo, por lo general, bastante dispersas.

Estas características hacen suponer, en principio, que no sea posible un aprovechamiento de este tipo de mineralizaciones en la zona.

También se han observado y cartografiado, aunque sólo localmente, algunas bandas de esquistos y paragneises con cier-

ta cantidad de blastos de distena-sillimanita de tamaño milimétrico (ver Fotografía 7-3), que en parte son también pseudomorfos originados a partir de andalucita. El contenido en distena-sillimanita observado en las láminas delgadas es ligeramente inferior al 10%, pero, no obstante, no debe descartarse su posible interés y convendría investigar estos tramos con mayor detalle.

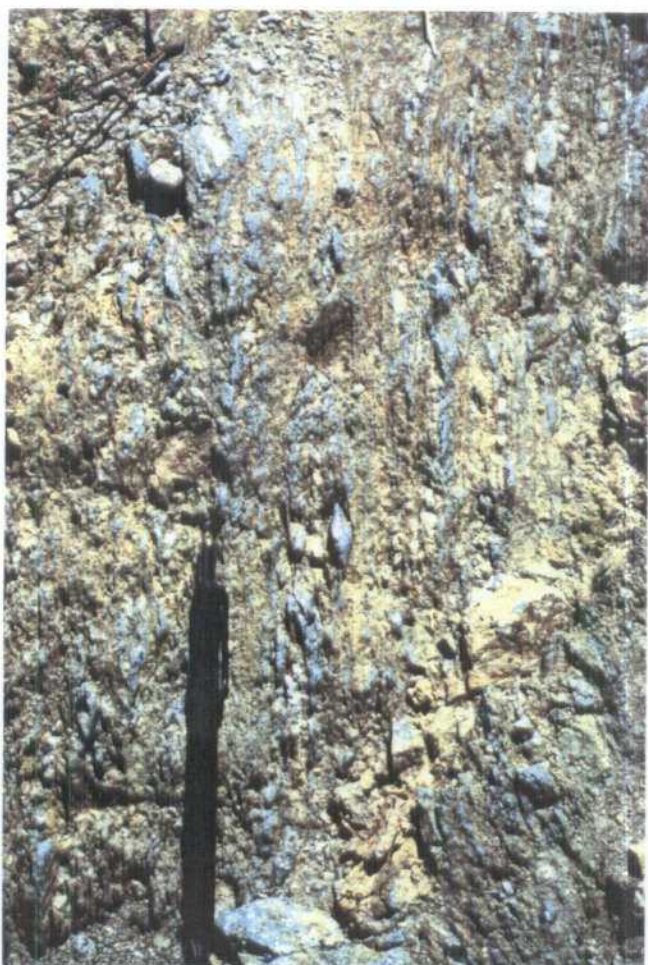
b).- Mineralizaciones de origen secundario

En relación con las áreas donde se da la presencia de filones de cuarzo con distena, puede apreciarse cómo ésta se concentra en los suelos, como material residual (ver Fotografía 4), y en depósitos coluviales y aluviales que aparecen rellenando los fondos de valle en sectores próximos a dichas áreas fuente (ver Fotografías 5, 6 y 8). Dentro de este tipo de depósitos, pueden destacarse los que aparecen a lo largo de los ríos Mera, Brandelos y Quintás-Prevedíños, y los que se encuentran inmediatamente al E de Arca (ver Plano Nº 2).

También aparecen cantos de distena en depósitos aluviales de mayor espesor y desarrollo (llanura aluvial y terrazas de los ríos Tambre y Ulla), algo más alejados de las áreas fuente, aunque en estos casos la concentración es bastante menor.

Los suelos con fragmentos de distena, aunque representan una gran extensión dentro de la zona (ver Planos Nº 3-A y 3-B), suelen tener, en general, muy poco espesor (<1,5 m), y, por tanto, no tienen mucho interés para la explotación.

Es en los coluviones donde habitualmente se observan mayores concentraciones de distena, en forma de cantos y bloques de hasta 0,5 m de diámetro o mayores, angulosos a subredondeados.



Fotografía 3.- Nivel de es-
quistos con abundantes
blastos de distena
(O Pino).



Fotografía 4.- Aspecto de un suelo en el que apa-
recen algunos cantos de distena
(Sar).



Fotografía 5.- Depósito aluvio-coluvial con un tramo inferior (30-60 cm) constituido por gravas, cantos y bloques de cuarzo, fragmentos de roca y distena; y un tramo superior (0,8-1 m) de arcillas y limos gris-oscuros (Arinteiro).



Fotografía 6.- Depósito aluvio-coluvial con gravas y cantos de cuarzo, fragmentos de roca y distena (terraza del Río Mera).

En estos depósitos, el cuarzo suele aparecer en mayor proporción que la distena, y también aparecen fragmentos de esquistos; la matriz es de carácter arenoso-arcilloso. El espesor de estos coluviones suele oscilar entre 1 m y 3 m, y el porcentaje de distena que contienen, aunque es muy variable, puede alcanzar el 20%.

Se han indicado, dentro del área cartografiada, los depósitos aluvio-coluviales en los que se ha comprobado la presencia de distena, o en los que se puede deducir su presencia por la proximidad de áreas fuente.

Características de la explotación

La distena se ha explotado en el ámbito de esta zona tanto en los depósitos aluviales y coluviales como en las acumulaciones residuales en suelos, si bien el tipo de explotación ha sido siempre muy rudimentario, combinando la extracción mecanizada en las áreas más favorables con la extracción y estriado manuales en puntos dispersos.

Actualmente, la explotación se lleva a cabo de modo intermitente en depósitos aluvio-coluviales, realizando la extracción con retroexcavadora y efectuándose in situ un estriado a mano de los cantos y bloques de distena (ver Fotografías 7 y 8). El material así seleccionado se somete luego a un sencillo proceso de trituración, cribado y lavado, con el que se obtiene un producto de distena en bruto con una granulometría de 0,5-100 mm y contenido en Al_2O_3 entre 56% y 58%.

En la Fig. 7-1 puede verse un esquema representativo de una zona en explotación. Generalmente, antes de iniciarse las labores, se realizan algunos pocillos y zanjas para delimitar los sectores del depósito aprovechables, en función de los espesores y concentración del mineral.



Fotografía 7.- Trabajos de extracción de distena en las inmediaciones de Arca.



Fotografía 8.- Aspecto del depósito coluvial con cantos y bloques de distena en una de las zanjas abiertas en la explotación.

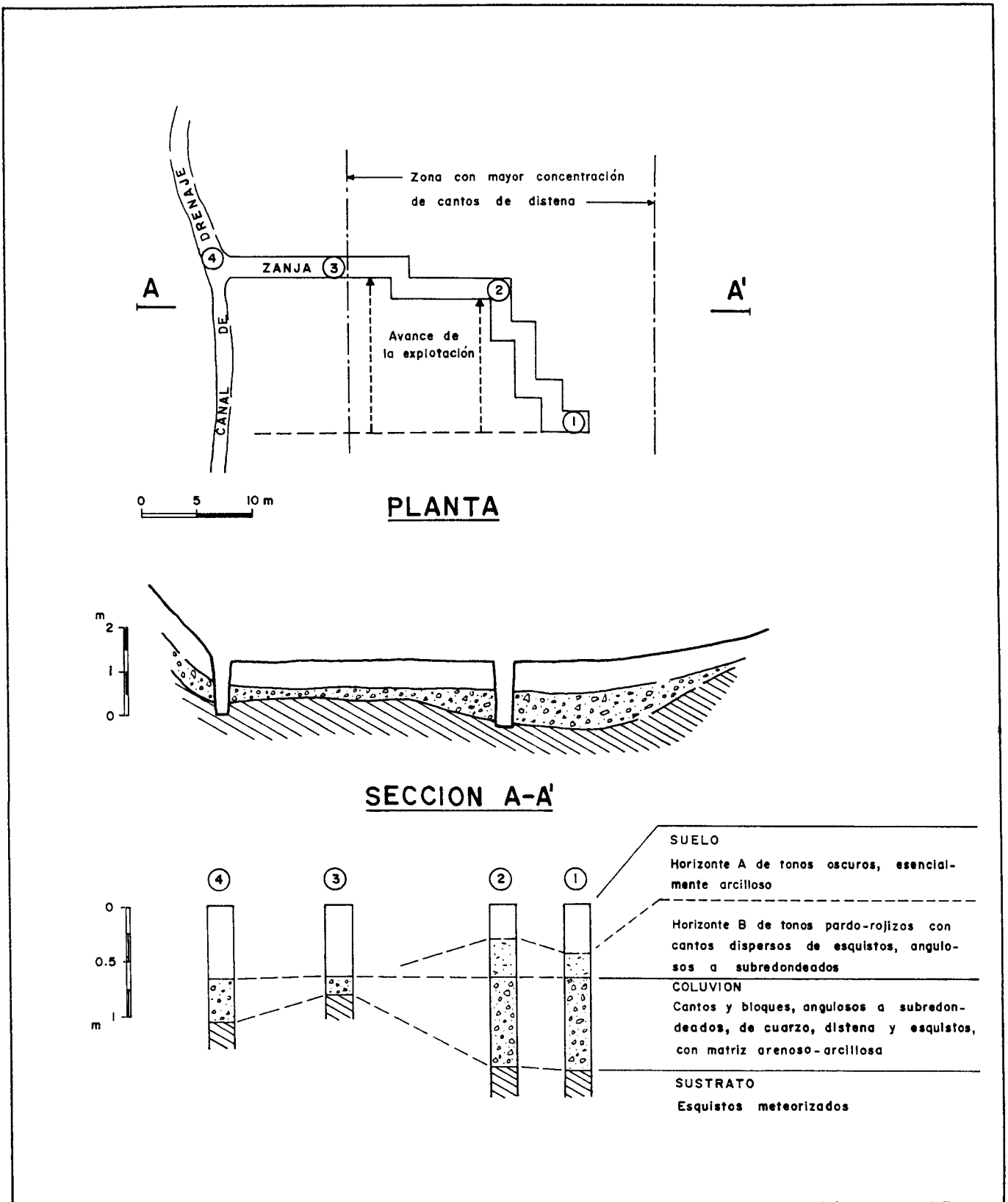


Fig. 7-1.- Esquema correspondiente a una zona de explotación de distena en un depósito coluvial situado en las inmediaciones de Arca (Fotografías 7 y 8).

Como los terrenos en los que se explota son habitualmente utilizados para pastos o cultivos, se procura extraer por separado los materiales del suelo y del depósito con distena, para volver a rellenar después las zanjadas abiertas con el residuo que queda tras el estriado y, sobre él, el material correspondiente al suelo.

Se trata, pues, de un sistema de explotación a pequeña escala y con una producción modesta (ver Fig. 3-2), que se adapta a los condicionantes impuestos por las características de este tipo de yacimientos y por la situación actual del mercado.

Ensayos de concentración

Los ensayos de concentración realizados en esta zona se han orientado hacia el conocimiento de posibles mejoras que se pueden conseguir considerando en los procesos otras granulometrías más finas. En este sentido, se han planteado los siguientes objetivos:

- a).- Comprobar si es posible obtener una calidad mayor a partir del preconcentrado en bruto que actualmente se comercializa (muestra C-1), previamente a cualquier proceso de calcinación.
- b).- Comprobar si es posible recuperar el mineral que se pierde en las fracciones que constituyen el rechazo del proceso de preconcentración (muestras C-2 y C-3).

Las muestras se han sometido a un proceso de separación en medio denso (bromoformo), seguido de una separación magnética de alta intensidad, previa molienda y clasificación en tres fracciones (1,0-0,5 mm, 0,5-0,25 mm y 0,25-0,125 mm).

A partir de la muestra C-1, se ha conseguido obtener concentrados con un contenido en Al_2O_3 ligeramente superior al

58% (hay que tener en cuenta que esta muestra contenía inicialmente 53,7% de Al_2O_3), menos de 1,1% de Fe_2O_3 , y contenido en álcalis inferior a 1,9%; con los siguientes rendimientos respecto al todo uno:

<u>Fracción</u>	<u>%Peso</u>	<u>%Recuperación</u>
1,0-0,5 mm	34,04	36,94
0,5-0,25 mm	19,62	14,11
0,25-0,125 mm	9,37	11,84

En cuanto a las muestras C-2 y C-3, los mejores resultados se han obtenido con la primera de ellas, correspondiente al rechazo de tamaño grueso, de la que se han recuperado concentrados con un contenido en Al_2O_3 de 57-58%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,9\%$ y álcalis $< 1,8\%$, en los dos rangos inferiores, con los siguientes rendimientos respecto al todo uno:

<u>Fracción</u>	<u>%Peso</u>	<u>%Recuperación</u>
0,5-0,25 mm	3,62	12,38
0,25-0,125 mm	2,50	8,77

Valoración minera de la zona

De acuerdo con las características de las mineralizaciones de distena que se han descrito en esta zona, puede decirse que el interés para la explotación se centra fundamentalmente en los depósitos de origen secundario de tipo aluvio-coluvial en zonas próximas a las áreas fuente con mineralización primaria en filones. Todos estos depósitos se sitúan dentro del perímetro de las actuales concesiones mineras (Plano N^o 2), y, puesto que muchos de ellos aún no han sido explotados,

cabe suponer un volumen de recursos elevado, aunque excesivamente disperso.

Hay que indicar también la conveniencia de estudiar más detalladamente los tramos de esquistos y paragneises con blastos de distena-sillimanita, que hasta el momento no habían sido puestos de manifiesto.

7.2. Zona de Xuno

Situación geográfica y geológica

La zona se localiza al SW de la localidad de Xuno (Porto do Son - A Coruña), en la Hoja del M.T.N. Nº 151 (Puebla del Camariñal). (Ver Plano Nº 1).

Se trata de un pequeño sector situado junto a la costa en el que existe un depósito cuaternario que contiene andalucita. Dicho depósito se encuentra recubriendo en parte el contacto entre un granito de dos micas orientado (Granito de Corrubedo) y rocas metamórficas del Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno (ABRIL e IGLESIAS 1985). En la Lámina 7-2 se recoge la cartografía geológica del entorno a E.1:50.000.

Antecedentes

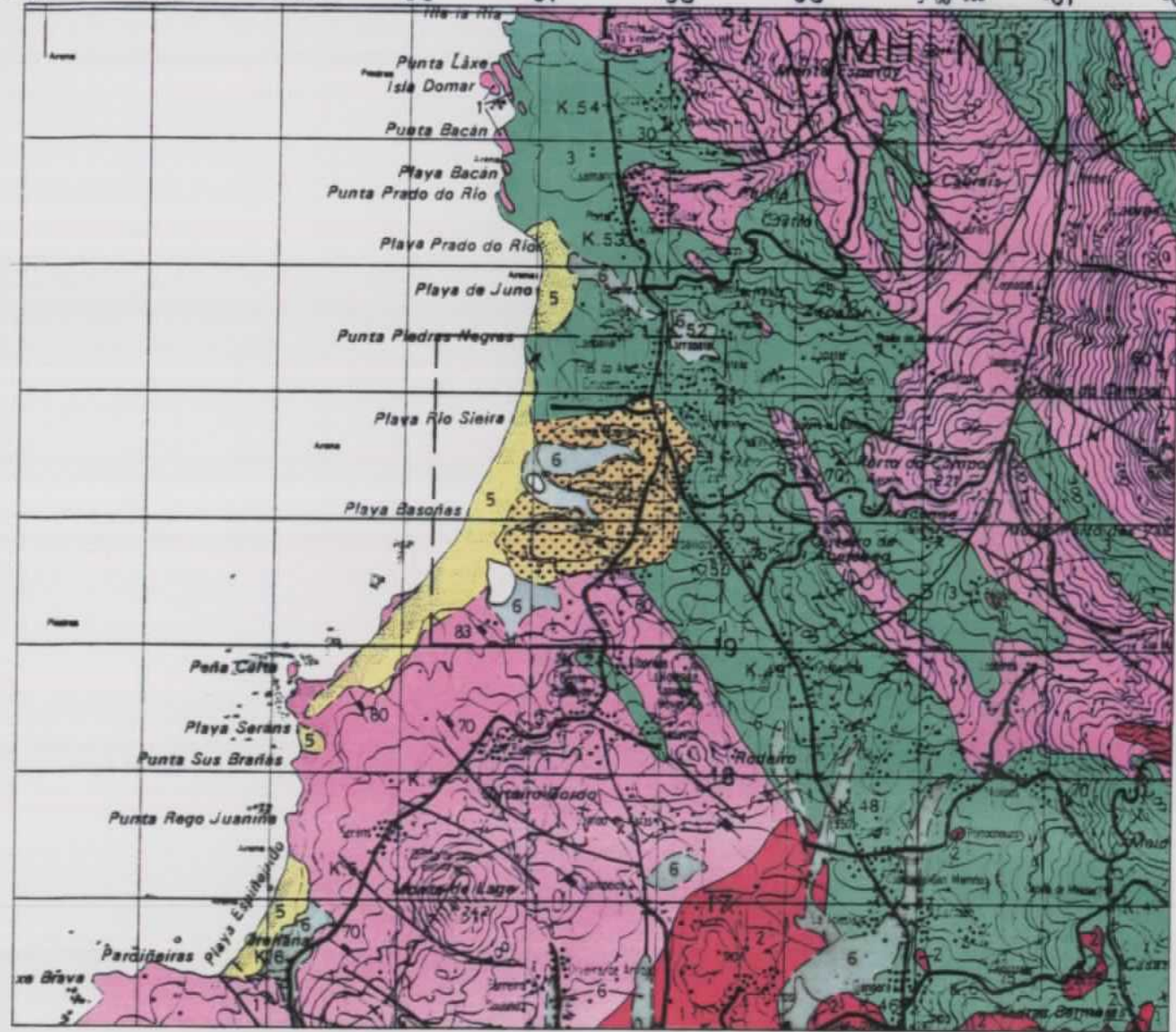
Este indicio aparece señalado en el Mapa Metalogenético de España E.1:200.000, Pontevedra-La Guardia (16-26), y en el Mapa Minero-Metalogénico de Galicia E.1:400.000.

Características de la mineralización

Como ya se ha indicado, el yacimiento es de tipo sedimentario, encontrándose la andalucita contenida en un depósito coluvial cuaternario constituido esencialmente por conglomerados poco consolidados.

La presencia de andalucita parece limitarse a un sector de unos 300 m x 600 m de extensión, situado entre las lagunas de Xuno y Muro, donde el depósito tiene espesores de 3 m a 10 m.

493 05 494 495 160 496 TARELA 0.7 KM 497 498 GOURIS 0.6 KM 500 9° 00' 165 501 502



LEYENDA

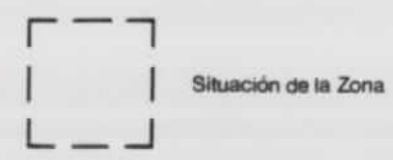
CUATERNARIO	5	6	6 Depósitos aluvio-coluviales
	4		5 Arenas de playa y dunas litorales
SILURICO	3		4 Conglomerados con matriz arenoso-limosa
	3 Esquistos y micaesquistos (COMPLEJO EL ROSAL-LA LANZADA-XUNO)		

ROCAS GRANITICAS

2	2 Granodiorita biotítica (GRANITO DE CALDAS DE REIS)
1	1 Granitos de dos micas

SIMBOLOS

- Contacto discordante
- Contacto intrusivo
- Falla
- ▲ Foliación principal (dirección y buzamiento)
- ◆ Foliación principal vertical
- Foliación en rocas graníticas
- Foliación en rocas graníticas vertical



DIBUJADO A. M. V.	INVESTIGACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS EN GALICIA
FECHA 28-9-90	
AUTOR J. M. TOYOS	LAMINA 7-2- MAPA DE SITUACION DE LA ZONA DE XUNO
ESCALA 1:50.000	



Se ha realizado una cartografía geológico-minera a escala 1:10.000 cubriendo una superficie de 400 ha (ver Plano Nº 4), en la que se indica la situación de dicho sector con andalucita.

En un corte junto a la playa, al borde de la Laguna de Muro, el conglomerado aparece integrado por gravas, cantos y bloques con una matriz arenoso-limosa (ver Fotografías 9 y 10). Los cantos son, en general, subangulosos a subredondeados, siendo más abundantes los de cuarzo; también hay fragmentos de esquistos, cuarcitas y algunos cristales o agregados de andalucita de tamaños variables (1 cm a 10 cm los más frecuentes). La estructura es masiva, aunque lateralmente se observan algunos lentejones de caolín, aproximadamente a 1 m del techo, con espesores de orden decimétrico y extensión lateral de varios m.

El citado depósito se encuentra parcialmente recubierto en la zona más próxima a la costa por dunas litorales y arenas de playa que, localmente, presentan a muro algunos tramos de gravas arenosas con matriz de tonos oscuros (ver Fotografía 11). Los granos son principalmente de cuarzo y aparecen también numerosos fragmentos de conchas de lamelibranquios. Estos niveles basales presentan estratificación y laminación plana paralela. La superficie basal es una superficie de erosión con suave relieve.

La andalucita que aparece diseminada en el depósito coluvial es de color rosado a grisáceo, apareciendo a veces cristales automorfos prismáticos. El aspecto que presenta es, por lo general, el propio de la andalucita filoniana que suele ir asociada a venas de cuarzo.

Es frecuente observar una relativa cantidad de andalucita sobre la superficie, especialmente en algunos caminos y pistas que atraviesan la zona; sin embargo, esta abundancia de andalucita es sólo aparente, pues en esas zonas se ha produ-

cido una concentración de los fragmentos a nivel superficial por efecto de la erosión y lavado de los materiales del depósito. Puede estimarse que el contenido medio en andalucita es en realidad inferior al 5%.

Se ha realizado un análisis químico de una de estas andalucitas, obteniéndose los siguientes resultados:

SiO ₂	37,50	%
Al ₂ O ₃	59,42	%
Fe ₂ O ₃	0,758	%
CaO	0,030	%
TiO ₂	0,038	%
K ₂ O	0,154	%
Na ₂ O	0,324	%
MgO	0,059	%
PPC	1,72	%

TOTAL: 100,003 %

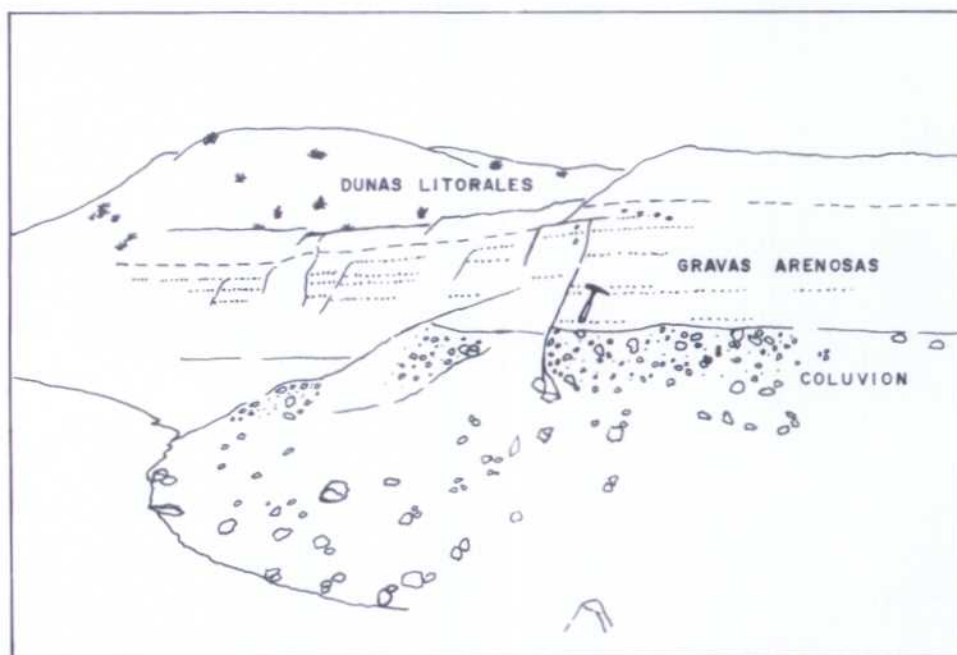
Estas andalucitas procederían, probablemente, de filones de cuarzo con andalucita presentes en los esquistos del Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno, habiéndose acumulado junto con otros fragmentos de cuarzo y esquistos tras un proceso de erosión y transporte a partir de un área fuente próxima. De hecho, estos filones o venas de cuarzo con andalucita suelen observarse en los esquistos que afloran en la zona, en los que también aparecen algunos niveles con blastos de andalucita. Las venas de cuarzo con andalucita suelen tener morfología lenticular, con espesores centimétricos y longitud decimétrica a métrica, y se disponen subparalelamente a la foliación principal; a causa de la dispersión que presentan, no parecen tener interés para la explotación.



Fotografía 9.- Depósito coluvial constituido por gravas y cantos de cuarzo, fragmentos de roca y andalucita, con matriz arenoso-limosa.



Fotografía 10.- Aspecto del depósito coluvial con fragmentos de andalucita en el corte junto a la Laguna de Muro.



Fotografía 11.- Dunas y arenas de playa, con un tramo basal de gravas arenosas, recubriendo el depósito coluvial con fragmentos de andalucita (Laguna de Muro).

Valoración minera de la zona

Dado el bajo contenido en andalucita del depósito, puede concluirse que carece de interés para la explotación, a pesar de que las características del material son bastante favorables tanto para la extracción como para la separación del mineral.

Otro aspecto negativo que también hay que considerar es la ubicación de la zona, que acarrearía indudablemente importantes problemas de impacto ambiental.

7.3. Zona de Monteferro-Rosal

Situación geográfica y geológica

Esta zona se sitúa al SW de la provincia de Pontevedra y comprende una franja que se extiende en dirección N-S desde Monteferro (Nigrán) y Baiona hasta O Rosal y Tomiño (Hojas del M.T.N. Nº 261 [Tuy] y 299 [Tomiño]). (Ver Plano Nº 1).

Se trata de un área con relieve medianamente acusado, definido por sierras y valles de dirección predominantemente N-S, con altitudes comprendidas entre el nivel del mar y los 663 m. Las poblaciones se concentran principalmente en los extremos N y S, y, en el resto de la zona, hay extensas áreas de bosque de pino.

A lo largo de la zona aflora una banda de rocas metamórficas limitada por dos grandes masas graníticas (ver Plano Nº 5). Se trata de materiales pertenecientes en su mayor parte al Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno (ABRIL HURTADO e IGLESIAS 1985).

Aún no se ha determinado con precisión si este sector corresponde a la Zona de Galicia-Tras-os-Montes o al autóctono de la Zona Centroibérica, de acuerdo con la división propuesta por FARIAS et al. (1987).

Antecedentes

Tanto en el Mapa Metalogenético de España E.1:200.000, Pontevedra-La Guardia (16-26), como en el Mapa Minero-Metalogénico de Galicia E.1:400.000 se citan indicios de andalucita en el extremo meridional de esta zona. En la memoria del segundo mapa citado se indica la presencia de abundante andalucita en los materiales metamórficos de esta área.

También existe actualmente un permiso de investigación de andalucita que cubre la mayor parte de la zona (ver Plano Nº 5).

Trabajos realizados en la zona

Se han reconocido, en primer lugar, los diferentes indicios y se han tomado muestras de andalucita filoniana para su caracterización.

Se ha seleccionado un área de unas 1.800 ha, en el extremo sur de la zona, entre O Rosal y Goián, para realizar en ella una cartografía geológico-minera a escala 1:10.000 (Plano Nº 6-A), diferenciando los niveles con andalucita más interesantes, en los que también se han tomado muestras para realizar estudios petrográficos y ensayos de concentración.

Rasgos geológicos generales

En el Plano Nº 5 se recoge la cartografía geológica de la zona a escala 1:50.000, con la situación de los principales indicios mineros y del área investigada en detalle (Sector Sur de la Sierra de Argallo).

A continuación, se hará referencia a los aspectos fundamentales de la geología de este sector estudiado en detalle, que, en parte, pueden ser aplicados al resto de la zona, teniendo siempre en cuenta que dicho sector se ha escogido por ser el que presenta mayor variedad de tipos de andalucita y mejores características de afloramiento.

- Estratigrafía

En la cartografía se han diferenciado cuatro unidades lito-estratigráficas que tendrían el rango de formaciones, aunque

aún no han sido formalmente definidas como tales. Se las ha denominado unidad I, unidad II, unidad III y unidad IV, de acuerdo con su orden de superposición. En la Fig. 7-2 se muestra una columna sintética junto con una breve descripción de cada una de ellas.

Los materiales que integran la unidad I han sido considerados por ABRIL HURTADO e IGLESIAS (1985) como pertenecientes al Complejo Esquisto-grauváquico y suponen para ellos una edad cámbrica.

Las unidades II, III y IV se incluirían dentro del Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno, definido por estos mismos autores, al que atribuyen una edad silúrica por correlación con litologías similares del N de Portugal.

No se ha observado, sin embargo, dentro del área investigada, ninguna discordancia entre las cuatro unidades mencionadas, existiendo habitualmente tránsitos más o menos graduales de unas a otras.

- Tectónica y metamorfismo

Este conjunto de rocas ha sido afectado por una deformación polifásica y una serie de procesos metamórficos durante la Orogenia Heciniana.

En el área estudiada se pueden reconocer estructuras correspondientes a al menos dos fases de deformación principales.

La fase de deformación que resulta más notoria en la zona ha dado lugar a pliegues a todas las escalas, desde cerrados a isoclinales, ligeramente vergentes hacia el W, con ejes horizontales o con ligera inmersión hacia el N. Asociada a estos pliegues, se genera una foliación de plano axial que sue-

le ser continua (esquistosidad o schistosity), aunque localmente puede aparecer más o menos espaciada, en forma de clivaje de crenulación (crenulation cleavage).

De acuerdo con las características que presenta, esta fase puede correlacionarse con la D₃ hercínica.

El hecho de que la foliación asociada a esta fase aparezca en ocasiones en forma de clivaje de crenulación manifiesta la presencia de una fase de deformación previa, lo que también se deduce de la existencia de foliaciones relictas en algunos metablastos (BUISSKOOL TOXOPEUS et al. 1978).

En la cartografía realizada se han puesto de manifiesto algunas estructuras que corresponderían a pliegues isoclinales replegados. También aparecen pliegues replegados a pequeña escala, aunque son difíciles de observar.

Estos materiales han sufrido un metamorfismo regional que ha llegado a alcanzar el grado medio, al que se ha superpuesto un metamorfismo térmico relacionado con el emplazamiento de los distintos cuerpos graníticos circundantes. En la cartografía aparecen dos granitos de dos micas que son: el Granito de La Guardia, en la parte W, y el Granito de Tabagón, al SW, que es un pequeño stock emplazado en el núcleo de un antiforame de fase 3 (Antiforame de Tabagón).

Hay que destacar la abundante presencia de diques aplíticos y pegmatíticos intruidos en estas rocas, con tamaños muy diversos, desde decimétricos hasta de escala cartográfica, y con orientaciones también muy variables. Algunos de ellos están netamente afectados por la fase de deformación principal, mientras que otros apenas están deformados.

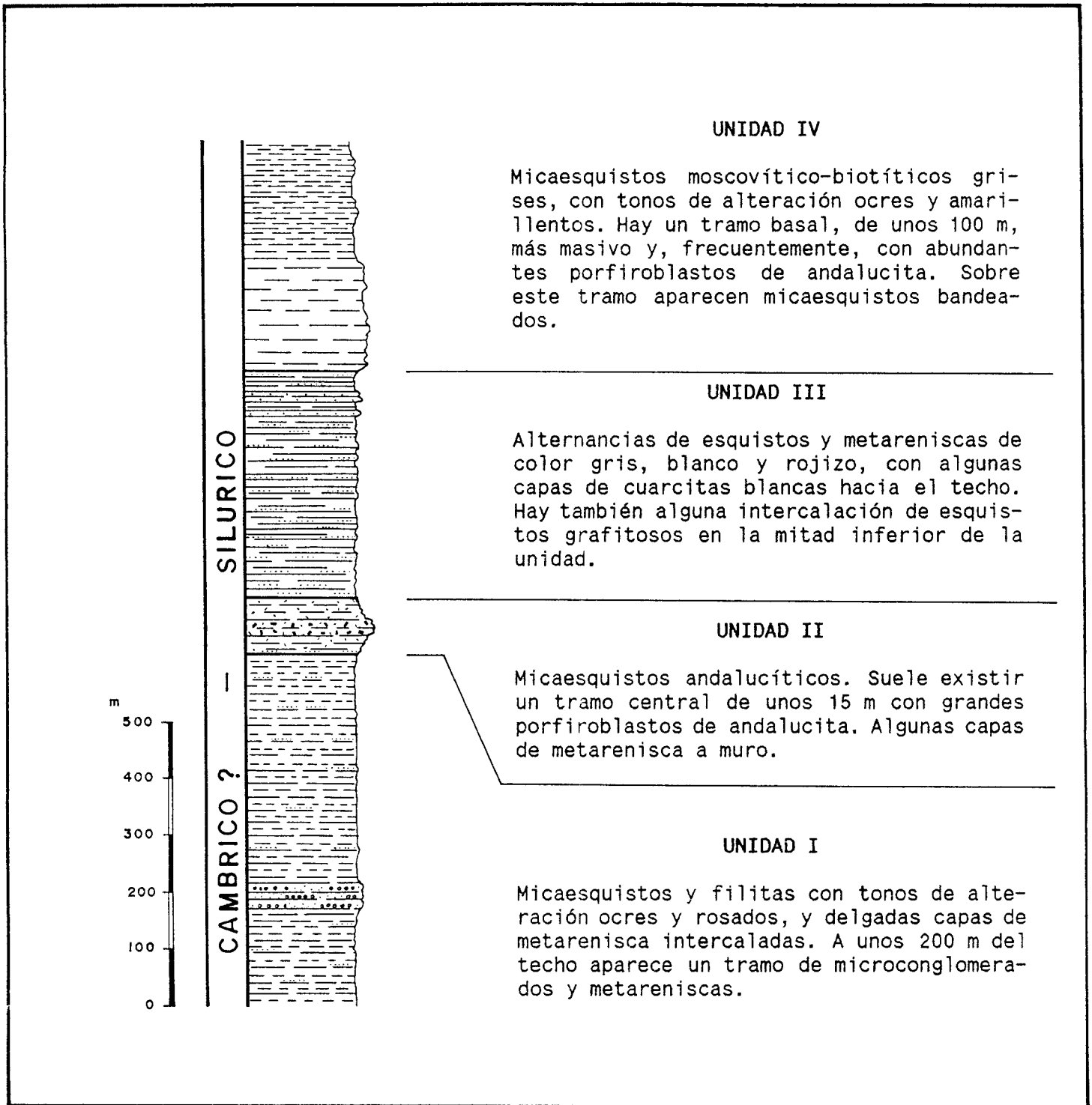


Fig. 7-2.- Columna estratigráfica sintética correspondiente al sector investigado en detalle.

Características de las mineralizaciones

Las mineralizaciones de andalucita más importantes que aparecen en la zona son de origen primario, producidas por los procesos metamórficos que han afectado a estas rocas. De acuerdo con su geometría, pueden distinguirse dos tipos de mineralización:

- En venas y filones

- Diseminada en la roca

a).- Andalucita en venas y filones

Este tipo de mineralizaciones suele aparecer en relación con los materiales de las unidades III y IV, generalmente en puntos donde también abundan los blastos de andalucita.

Se trata habitualmente de venas y filones de cuarzo con andalucita, aunque también se observan algunos filones de andalucita masiva.

Estas venas y filones se disponen subparalelamente a la foliación principal y suelen tener forma lenticular o presentar boudins y estructuras pinch and swell, y, a veces, pliegues.

La andalucita se presenta en forma de cristales automorfos prismáticos de color rosado y con tamaños grandes (1-3 cm de sección y 3-10 cm de longitud), formando en algunos casos haces radiales. También puede presentarse en forma de agregados irregulares.

En estos filones suele aparecer también turmalina, en los bordes del filón, y moscovita, que con frecuencia recubre a la andalucita en forma de cristales epitáxicos.

En las Fotografías 12, 13 y 14 pueden verse algunos ejemplos de estos tipos de mineralización.

Las antiguas explotaciones de andalucita que hubo en la zona consistían en calicatas y pequeñas galerías realizadas sobre filones de este tipo, con espesores generalmente inferiores a 2 m y longitud, como máximo, decamétrica (ver Fotografía 15).

b).- Andalucita diseminada en la roca

Los blastos de andalucita que aparecen en las rocas de esta zona presentan una gran variedad de aspectos, tamaños y abundancia, y sólo se describirán aquí los tipos principales que existen en el área de estudio.

La aparición de blastos de andalucita y las distintas características de este mineral vienen determinados principalmente por la litología y las condiciones del metamorfismo, en particular, hay que señalar la relación espacial que guardan en muchos casos con los granitos.

Tipo 1: Este primer tipo es característico de la unidad II y su presencia es continua a lo largo de los afloramientos de esta unidad. Se trata de andalucitas de color gris a gris-oscuro que, a su vez, presentan dos subtipos: blastos xenomorfos de tamaño milimétrico y porfiroblastos automorfos prismáticos de hasta 1 cm de sección y 4 cm de longitud, frecuentemente con zonación, y orientados al azar (ver Fotografías 16 y 17).

La distribución de la andalucita dentro de la unidad no es homogénea sino que alternan tramos con mayor y menor contenido, existiendo un tramo central de 15 a 20 m que es el que presenta mayor abundancia (15-30%).



Fotografía 12.- Vena de andalucita masiva con boudins.



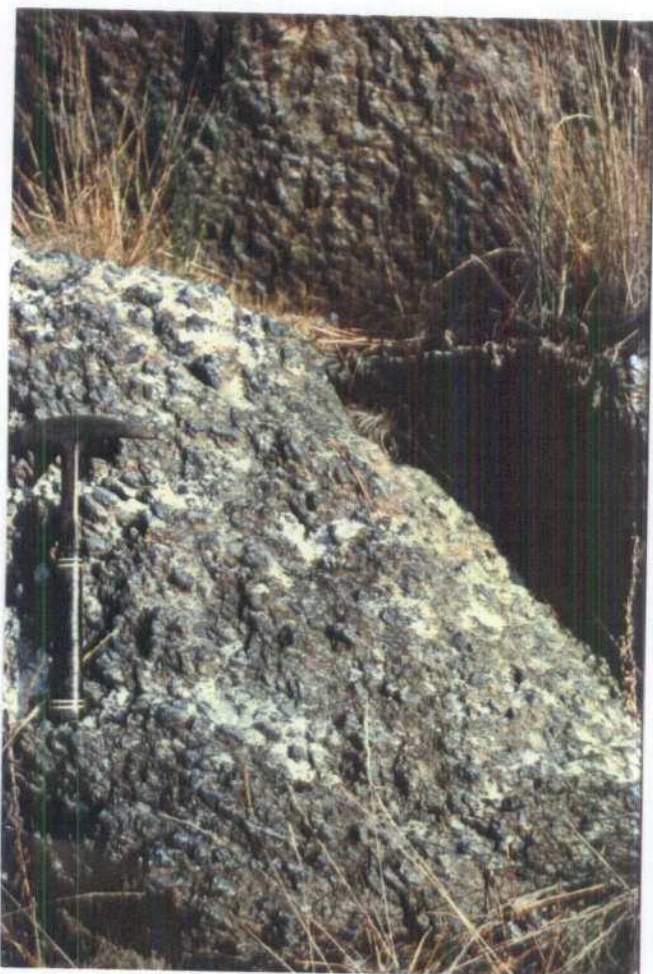
Fotografía 13.- Detalle de la fotografía anterior.



Fotografía 14.- Vena de cuarzo y andalucita con boudins.

Fotografía 15.- Zanja sobre un filón de cuarzo con andalucita (explotaciones abandonadas al W de Vila-chán).





Fotografía 16.- Aspecto de los niveles con porfiroblastos de andalucita de tipo 1.



Fotografía 17.- Secciones de andalucita de tipo 1 con zonación.

Tipo 2: Este tipo sólo aparece en un sector en torno a la zona de charnela del Antiforme de Tabagón, dentro de los esquistos de la unidad III. Es una andalucita de color gris claro a blanco, en porfiroblastos de pequeño tamaño (< 2 cm), xenomorfos a subautomorfos, con morfologías que varían entre prismáticas y esferoidales, desarrollados según los planos de foliación y orientados al azar (ver Fotografías 18 y 19). Suele tener pequeñas inclusiones y cierto grado de sericitización.

El porcentaje de andalucita también varía según los tramos, estimándose un contenido entre 10% y 20%.

Tipo 3: Se trata de porfiroblastos de quistolita automorfos, de color rosado y con bastante transparencia, con tamaños de 0,5-1 cm de sección por 6-8 cm de longitud. Se disponen también orientados al azar según los planos de foliación y suelen presentar fracturas perpendiculares a su dimensión máxima (ver Fotografías 20 y 21).

Este tipo aparece de modo discontinuo en niveles de micaesquistos gris-oscuros situados en la parte basal de la unidad IV. Suele existir un nivel de unos 8-10 m de espesor justamente sobre el contacto entre las unidades III y IV, y otro nivel de 1-3 m situado varios metros por encima del anterior. El contenido en andalucita oscila entre 10% y 25%.

Tipo 4: Aparece en zonas próximas al Granito de Tabagón, al N y al E, en los tramos inferiores de la unidad IV. Es una andalucita de pequeño tamaño (varios mm de sección y menos de 3 cm de longitud), xenomorfa a subautomorfa, transparente, blanca o ligeramente rosada, con orientación al azar de modo similar al tipo anterior (ver Fotografía 22). Su porcentaje en la roca suele ser de 10% a 20%.



Fotografía 18.- Aspecto de las andalucitas de tipo 2.



Fotografía 19.- Andalucitas de tipo 2. Obsérvese la alternancia de capas con distinto contenido en andalucita. La foliación aparece en posición vertical.



Fotografías 20 y 21.- Aspecto de las andalucitas (quastolitas) de tipo 3.



Fotografía 22.- Aspecto de las andalucitas de tipo 4.

Tipo 5: También en las proximidades del Granito de Tabagón, pero en la parte W, aparece este tipo de andalucita de color gris y tamaño milimétrico, parcialmente sericitizada, con formas esferoidales a prismáticas, dando a la roca un aspecto granular muy característico (ver Fotografías 23 y 24). Es también en este caso la parte basal de la unidad IV donde aparece este tipo de andalucita, en un tramo que oscila entre 20 y 50 m.

El porcentaje de andalucita es variable, desde 20% hasta 50%.

Tipo 6: Este es, sin duda, el tipo de andalucita más frecuente en la zona de estudio. Aparece en los micaesquistos de la unidad IV, especialmente en la parte inferior.



Fotografías 23 y 24.- Aspecto de los niveles con andalucita de tipo 5.

Se trata de poiquiloblastos subautomorfos, generalmente de gran tamaño (hasta 2 cm de sección por 10 cm de longitud) , de color gris a blanco, estando normalmente bastante sericitizados (ver Fotografías 25 y 26). Tienen numerosas inclusiones de cuarzo, biotita, granate y estauroлита. Están orientados paralelamente a las superficies de foliación, más o menos al azar, aunque existe una orientación preferente que es subparalela a una lineación de crenulación que suele aparecer en la roca.

El contenido total en andalucita de estas rocas oscila entre el 10% y el 30%.

Ensayos de concentración

Se tomaron inicialmente cuatro muestras para realizar ensayos de concentración, correspondientes a los tipos 1 (muestra C-8), 3 (muestra C-9) y 6 (muestras C-4 y C-5). Sin embargo, con las dos últimas no se consideró interesante llevar a término los ensayos, a la vista de los resultados analíticos y del estudio petrográfico.

Con las muestras C-8 y C-9, se realizó primero una separación en medio denso (bromoforno), previa trituración, molienda y clasificación en los rangos 8-5 mm, 5-1 mm y 1-0,5 mm. A continuación, se llevó a cabo una separación magnética de alta intensidad solamente con el concentrado de la fracción de 1-0,5 mm, al no poder aplicarse a los tamaños más gruesos las técnicas de laboratorio disponibles.

Los resultados han sido muy desiguales para ambas muestras, de modo que únicamente con la muestra C-9 se ha obtenido un concentrado interesante, con 57,63% de Al_2O_3 , 1,61% de Fe_2O_3 y 0,62% de álcalis, en la fracción de 1-0,5 mm, con los siguientes rendimientos:

	<u>%Peso</u>	<u>%Recuperación</u>
En relac. al rango granulom.:	20,37	50,84
En relac. al todo-uno:	7,82	17,91

Para la fracción de 5-1 mm de esta misma muestra, se han alcanzado valores de 41,51% de Al_2O_3 con rendimientos aceptables, mediante la separación gravimétrica, pudiendo esperarse mejores resultados tras realizar la separación magnética.

Teniendo en cuenta estos resultados, se decidió tomar una muestra de mayor volumen (100 kg) con este mismo tipo de andalucita (muestra C-10), para proseguir la investigación, llevando a cabo nuevos ensayos de concentración.

Valoración minera de la zona

Por lo que se refiere a las mineralizaciones en venas y filones (las únicas que hasta el momento han sido objeto de explotación), puede decirse que, aunque presentan un mineral válido en cuanto a calidad, no tienen actualmente interés para la explotación a causa de sus reducidas dimensiones y dispersión dentro de esta zona.

En cuanto a los distintos tipos de andalucita diseminada en la roca, todos los que se han descrito presentan leyes adecuadas; sin embargo, las calidades son muy distintas, apareciendo a veces características negativas como son la abundancia de inclusiones y la sericitización, de modo que sólo merecen ser destacados en este sentido los tipos 3 y 4, por su tamaño y limpieza, aunque también son los más escasos dentro del sector estudiado.

En definitiva, se trata de una zona de gran interés y que presenta buenas perspectivas para la explotación, en función de la abundancia y variedad de tipos de andalucita que aparecen, y de las apropiadas características de algunos de ellos.



Fotografías 25 y 26.- Poiquiloblastos de andalucita de tipo 6.



7.4. Zona de Cabo de Home

Situación geográfica y geológica

Esta zona constituye un pequeño sector situado al S de la localidad de Donón (Cangas - Pontevedra), en torno al Cabo de Home, (Hoja del M.T.N. Nº 222 [Cíes]). (Ver Plano Nº 1 y Fig. 7-3).

En este sector afloran rocas metasedimentarias pertenecientes al Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno, que corresponden a la prolongación hacia el N de la banda a la que se ha hecho referencia en la Zona de Monteferro-Rosal. Estos materiales metamórficos están limitados en la parte E por el contacto con un granito de dos micas orientado. (Ver Fig. 7-3).

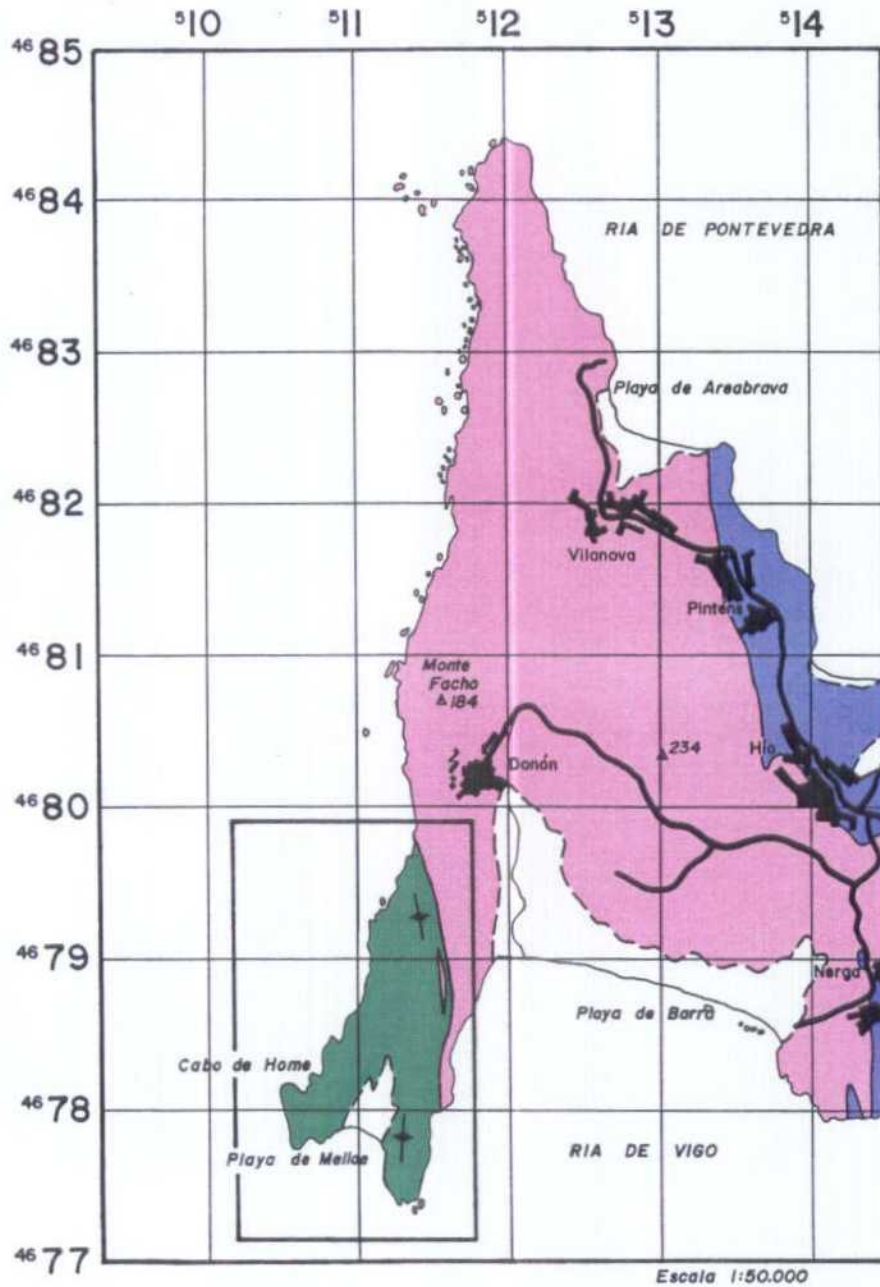
Antecedentes

En el Mapa Minero-Metalogénico de Galicia E.1:400.000 se cita la presencia de andalucita en los materiales metamórficos que aparecen en esta zona.

Características de las mineralizaciones

Al igual que en la Zona de Monteferro Rosal, también aquí existen mineralizaciones de andalucita en venas de cuarzo, con distintas orientaciones, espesores de orden decimétrico y longitudes de orden métrico.

Aparecen también algunos niveles de esquistos con blastos de andalucita, aunque de tipos algo distintos a los descritos en la parte S de la zona precedente.



- CUATERNARIO
- COMPLEJO "EL ROSAL - LA LANZADA - XUNO" (SILURICO)
Esquistos, micaesquistos y esquistos grafitosos
- Granitos de dos micas
- Granodioritas y granitos biotíticos precoces

Fig. 7-3.- Mapa de situación de la Zona de Cabo de Home.

Otro tipo de mineralización presente en esta zona consiste en bandas irregulares con numerosas venas de cuarzo, dentro de los materiales esquistosos, en las cuales aparece abundante andalucita de tonos gris-oscuros, formando agregados o cristales de varios cm de longitud (ver Fotografías 27 y 28). Estas bandas tienen una orientación de 170° y son paralelas a la foliación principal que es subvertical; tienen anchuras de orden métrico y longitudes de orden decamétrico, y se encuentran dispersas a lo largo de la mitad occidental de la zona.

Valoración minera de la zona

Las mineralizaciones de andalucita presentes en esta zona tienen escaso interés para la explotación, principalmente por las reducidas dimensiones que poseen todas ellas.



Fotografía 27.- Aspecto de una banda con venas de cuarzo y andalucita gris-oscuro en los esquistos del Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno.



Fotografía 28.- Detalle de la fotografía anterior.

7.5. Zona de Portonovo

Situación geográfica y geológica

La zona se extiende desde la localidad de Portonovo (Sanxenxo - Pontevedra) hacia el NW, en los límites oriental y occidental respectivamente, de las Hojas del M.T.N. Nº 184 (O Grove) y 185 (Pontevedra). (Ver Plano Nº 1).

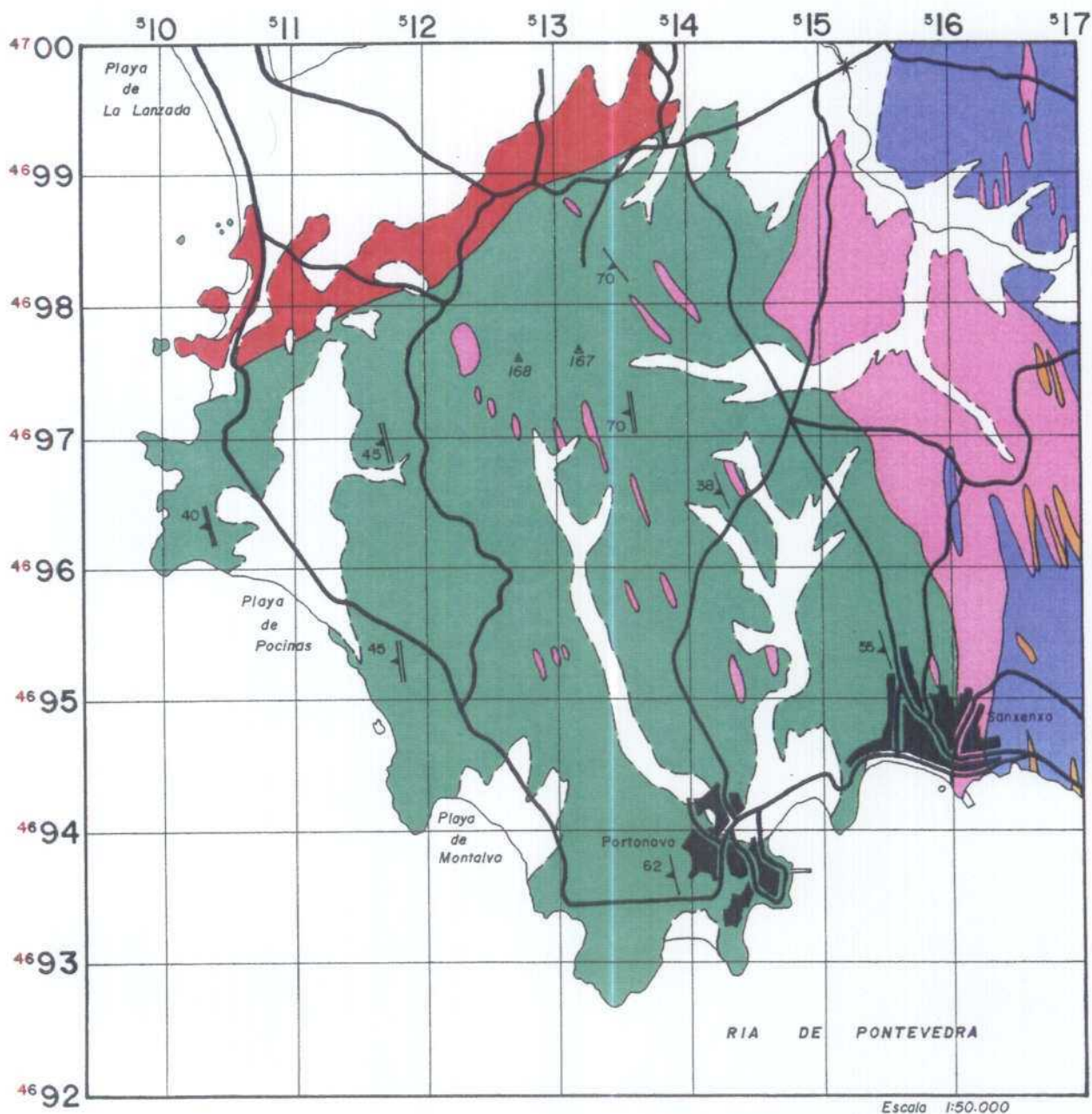
La situación y características geológicas de esta zona son similares a las de las dos anteriores. En ella afloran rocas metasedimentarias del Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno, en contacto con un granito de dos micas, al E, y con el Plutón granítico de Caldas de Reyes, al N. (Ver Fig 7-4).

Antecedentes

En el Mapa Minero-Metalogénico de Galicia E.1:400.000 se cita la aparición de abundante andalucita en los materiales metamórficos de este sector.

Características de las mineralizaciones

En los afloramientos a lo largo de la costa, se pueden observar algunos niveles de la serie metasedimentaria con una cierta cantidad de blastos de andalucita: hay cuarzo esquistos con cristales tabulares y agregados de andalucita de tonos rosados oscuros y de pequeño tamaño (de orden centimétrico o menor)(ver Fotografía 29); también son frecuentes los esquistos con cristales prismáticos de andalucita con inclusiones grafitosas y color gris oscuro (de hasta 10 cm de longitud).









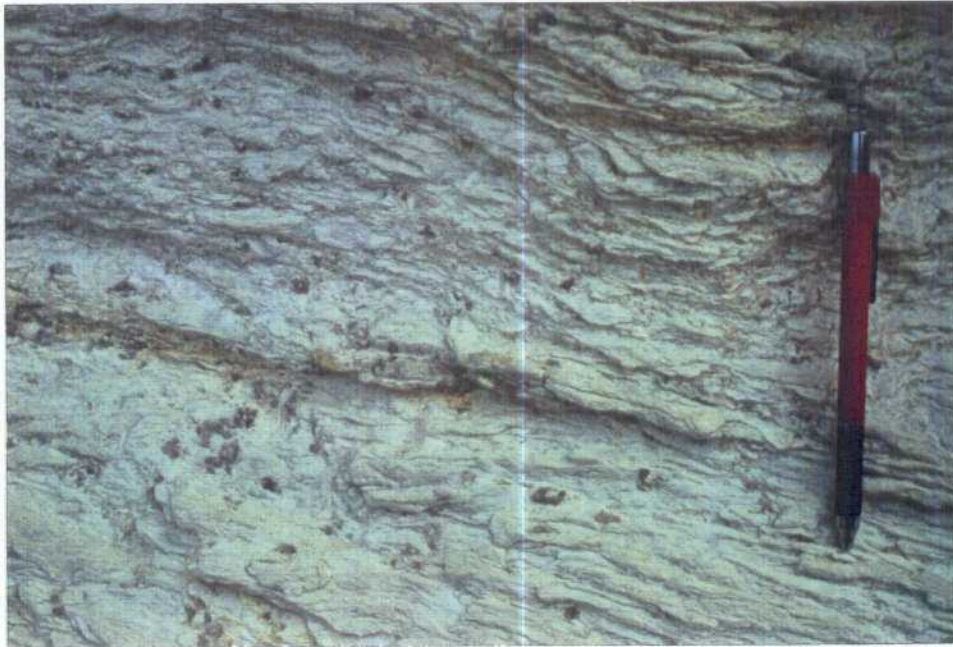
- | | |
|---|---|
|  | CUATERNARIO |
|  | COMPLEJO "EL ROSAL - LA LANZADA - XUNO" (SILURICO)
Esquistos, micaesquistos y esquistos grafitosos |
|  | Granodioritas tardías (Plutón granítico de Caldas de Reyes) |
|  | Granitos de dos micas |
|  | Granodioritas precoces |
|  | Paragneises |

Fig. 7-4.- Esquema geológico de la Zona de Portonovo.



Fotografía 29.- Cuarzoesquistos con blastos de andalucita (Porto Mouro).

Valoración minera de la zona

Aunque las mineralizaciones observadas no son especialmente llamativas, algunos de los niveles con blastos de andalucita sí podrían tener interés para la explotación, y sería conveniente investigarlos con mayor detalle.

7.6. Zona de Verín

Situación geográfica y geológica

Esta zona constituye un rectángulo que se extiende en dirección NNW-SSE, al NW y al SE de Verín (Ourense), comprendiendo parte de las Hojas del M.T.N. Nº 264 (Xinzo de Limia), 265 (Laza) y 303 (Verín). (Ver Plano Nº 1 y Lámina 7-3).

Geológicamente, esta zona se sitúa en el borde oriental del Dominio Esquistoso de Galicia-Tras-os-Montes (Zona de Galicia-Tras-os-Montes), según la división propuesta por FARIAS et al. (1987). En ella afloran rocas metasedimentarias de edad Precámbrico-Silúrico y diversos granitoides hercínicos.

Antecedentes

Existen varios permisos de exploración y de investigación dentro de esta zona, habiéndose efectuado, al menos en uno de ellos, ensayos de concentración de andalucita con resultados positivos.

Características de las mineralizaciones

Las mineralizaciones de andalucita se encuentran fundamentalmente en la formación Esquistos y Filitas de Baldriz (FARIAS 1990), perteneciente al Grupo de Santabaia (BARRERA et al. 1989), de edad Ordovícico-Silúrico. Esta formación está constituida esencialmente por filitas y esquistos negros y grises, en los que se han desarrollado abundantes porfiroblastos de andalucita (quiastolita) debido al efecto térmico de los granitoides circundantes. También aparece andalucita en otras formaciones de la zona, pero habitualmente en menor cantidad.

La abundancia y el tamaño de los porfiroblastos de quiastolita no es constante para toda la formación, existiendo tramos con 30% a 40% de andalucita que alternan con otros en los que este mineral pasa a ser accesorio. Generalmente se presenta en forma de prismas de varios mm de sección y longitud centimétrica, orientados al azar; suelen tener núcleos grafitosos muy desarrollados y un cierto grado de sericitización. También existen algunos niveles con porfiroblastos de mayor tamaño.

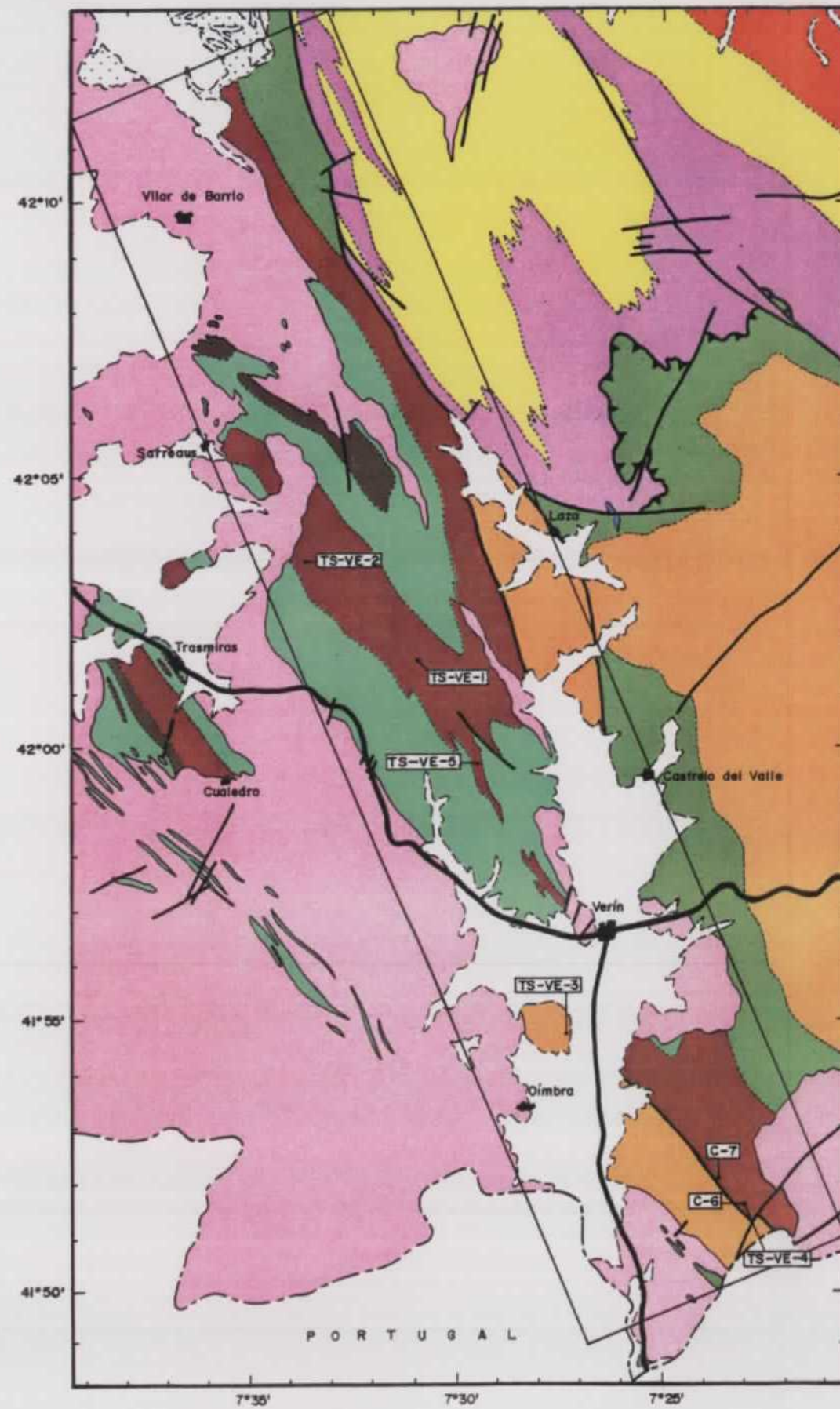
Ensayos de concentración

Se han tomado dos muestras para realizar ensayos de concentración, en niveles de esquistos con porfiroblastos de andalucita gris-oscura de tamaño centimétrico (muestra C-6) y de esquistos con blastos de andalucita gris de tamaño milimétrico (muestra C-7), dentro de los Esquistos y Filitas de Baldriz, en la parte meridional de la zona (ver Lámina 7-3).

El proceso utilizado ha sido el mismo que se ha descrito para las muestras de la Zona de Monteferro-Rosal.

Los resultados obtenidos no han sido muy positivos, puesto que, para las fracciones de 8-5 mm y 5-1 mm, los concentrados producidos mediante la separación en bromoformo alcanzaron contenidos de tan sólo 30-36% de Al_2O_3 ; y para la fracción de 1-0,5 mm, combinando separación gravimétrica y magnética, se obtuvieron concentrados con 41-44% de Al_2O_3 y 3,3-3,4% de Fe_2O_3 .

Sin embargo, conviene recordar que se han realizado también ensayos de concentración en uno de los permisos de investigación situados en esta zona, obteniéndose productos comerciales mediante un proceso de concentración gravimétrica, magnética y por flotación.



LEYENDA

CUATERNARIO	12
TERCIARIO	11

- 12 Depósitos recientes indiferenciados
- 11 Arcillas, arenas y gravas

ZONA DE GALICIA-TRAS-OS-MONTES

Dominio Esquistoso de Galicia-Tras-os-Montes

SILURICO	10
	9
	8
PRECAMBR.- ORDOVICICO	7
	6

- 10 GRUPO DE PARAÑO
Esquistos, filitas y grauvacas
- 9 GRUPO DE NOGUEIRA
Esquistos, esquistos grafitosos y lilitas
- GRUPO DE SANTABAIA
- 8 Esquistos y filitas de Baldriz
- 7 Areniscas y filitas
- 6 Metavulcanitas ácidas

ZONA CENTRO-IBERICA

Unidad de Los Montes del Invernadeiro

ORDOVICICO	5
	4
	3

- 5 Pizarras grises y negras
- 4 Cuarcitas, areniscas y pizarras
- 3 Filitas, cuarcitas y pizarras grafitosas con metavulcanitas intercaladas

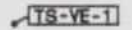

2

- 2 Granitos de dos micas

1

- 1 Diques básicos

SIMBOLOS

-----	Contacto normal		Situación de muestras
- - - - -	Contacto discordante		Situación de la Zona
—————	Contacto intrusivo		
—————	Falla		
———▲———	Cabalgamiento		

DIBUJADO J.M.T., A.M.V.	INVESTIGACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS EN GALICIA
FECHA FEB./91	
AUTOR J. M. TOYOS	LAMINA 7-3.- MAPA DE SITUACION DE LA ZONA DE VERIN
ESCALA 1:200.000	



Instituto Tecnológico
Geominero de España

Valoración minera de la zona

Aunque el nivel de conocimiento de la zona es aún bastante limitado en algunos aspectos, puede considerarse como una de las más interesantes, teniendo en cuenta la extensión de las áreas con mineralizaciones y la abundante cantidad de andalucita que presentan. Este interés viene confirmado por la presencia de los diversos permisos de exploración e investigación, que cubren casi totalmente las áreas mineralizadas.

7.7. Zona de Valadouro

Situación geográfica y geológica

Se localiza esta zona al NW de Mondoñedo (Lugo), extendiéndose desde Ferreira do Valadouro hacia el S, comprendiendo parte de las Hojas del M.T.N. Nº 9 (Foz) y 24 (Mondoñedo). (Ver Plano Nº 1 y Fig. 7-5).

Este sector se encuentra situado sobre el Plutón granítico circunscrito de La Tojiza, intruido en materiales precámbricos y paleozoicos del Manto de Mondoñedo (Zona Asturoccidental-Leonesa).

Antecedentes

En la zona existe una concesión de explotación y un permiso de investigación pertenecientes a la empresa Basazuri s.l., y ha existido también un permiso de exploración para sillimanita solicitado por P.M.C. Se han llevado a cabo diversas investigaciones por ambas partes, aunque por el momento no se ha llegado a poner en marcha ninguna explotación, al no haberse conseguido aún obtener rendimientos aceptables en los procesos de concentración.

Esta zona se encuentra incluida dentro de las estudiadas en la "Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste" (I.G.M.E. 1977).

En 1981 se llevó a cabo por parte del I.G.M.E. un estudio de concentración de sillimanita en los sectores correspondientes a los permisos mineros antes citados.

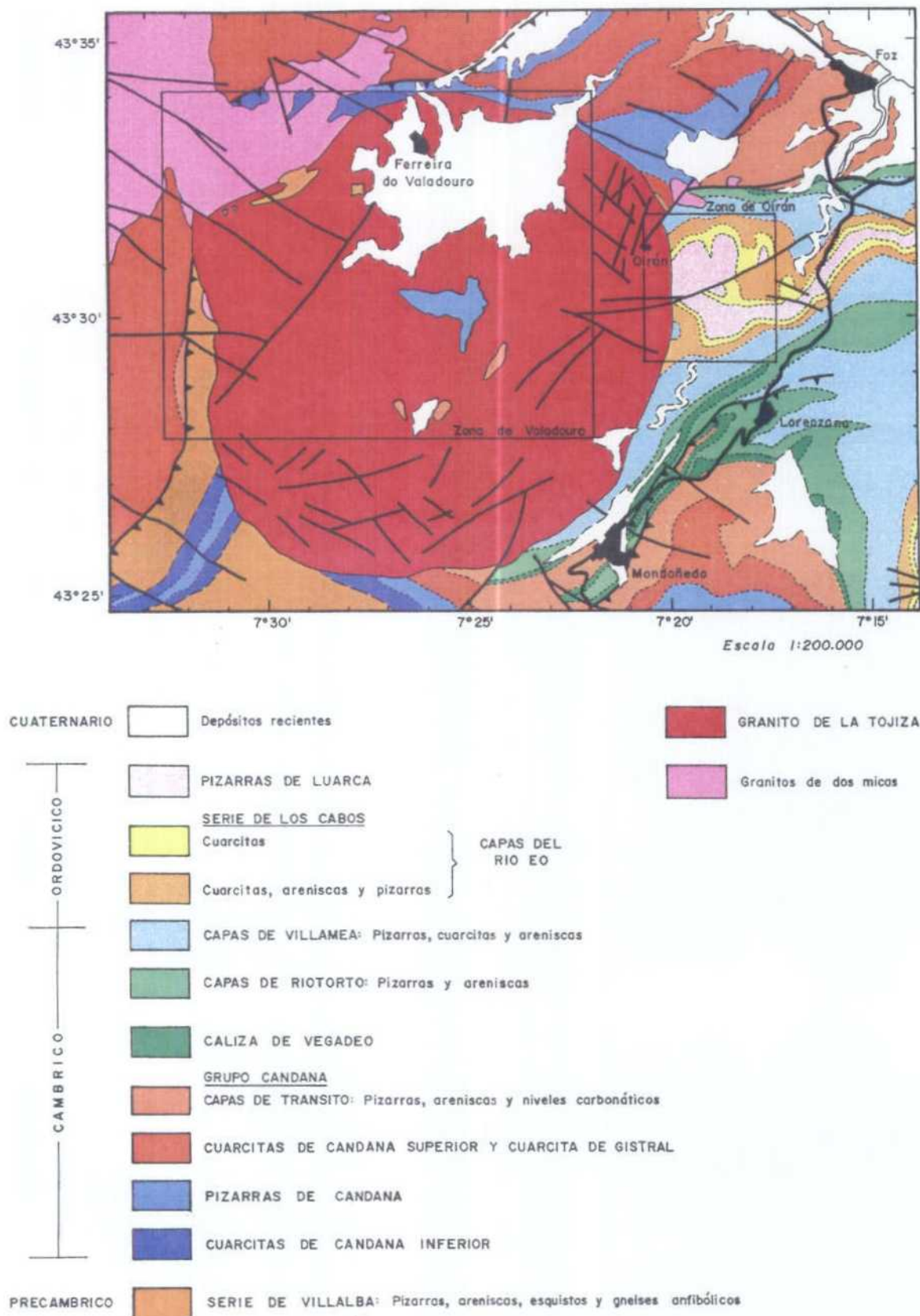


Fig. 7-5.- Mapa de situación de las zonas de Valadouro y Oirán.

Características de las mineralizaciones

La sillimanita aparece por efecto del metamorfismo de contacto en diversos enclaves metamórficos de cúpula o roof pendants, dentro del Plutón granítico de La Tojiza, en forma de cristales prismáticos y fibrosos (fibrolita) de orden centimétrico o menor, orientados al azar pero paralelamente a las superficies de la foliación.

Los permisos mineros se sitúan en una zona con numerosos enclaves (ver Fig. 7-6). En uno de los de mayores dimensiones (200 x 300 m de afloramiento), puede observarse a lo largo de una calicata que el enclave está constituido por una serie metasedimentaria que buza unos 30° al E, con una litología muy variada: areniscas y microconglomerados, alternancias de esquistos y areniscas, niveles grafitosos y esquistos gris-verdosos. Estas características hacen suponer que se trata de tramos correspondientes al Grupo Cándana (BASTIDA et al., 1984), probablemente a las Pizarras de Cándana y Cuarcita de Cándana superior.

Lógicamente, el contenido en sillimanita también varía mucho de unas litologías a otras, siendo más abundante en los tramos esquistosos y prácticamente inexistente en las metareniscas y microconglomerados.

Valoración minera de la zona

Estas mineralizaciones de sillimanita presentan leyes adecuadas y volumen de recursos suficiente para poder ser explotadas. Sin embargo, su aprovechamiento plantea problemas en cuanto al proceso de concentración, habiéndose realizado hasta la fecha —como ya se ha indicado— diversas pruebas y ensayos poco satisfactorios.

En el estudio llevado a cabo por el I.G.M.E. (1981), se realizaron ensayos de concentración con granulometrías de

-0,174 mm, de acuerdo con el tamaño de liberación de la sillimanita deducido mediante el estudio petrográfico. Se probaron el ciclonado en medio denso, que no dio buen resultado, y la concentración por flotación y separación magnética.

Con este segundo método, se obtuvieron concentrados con 58-60% de Al_2O_3 , 0,8-1,1% de Fe_2O_3 y 1,04-1,22% de álcalis, con rendimientos aceptables. No obstante, hay que tener en cuenta que la granulometría empleada es excesivamente fina en relación a los tamaños comerciales, y con esta limitación no se podría justificar el empleo de técnicas de flotación.

El problema planteado está, pues, aún sin resolver, y las actuales investigaciones se centran fundamentalmente en este punto.

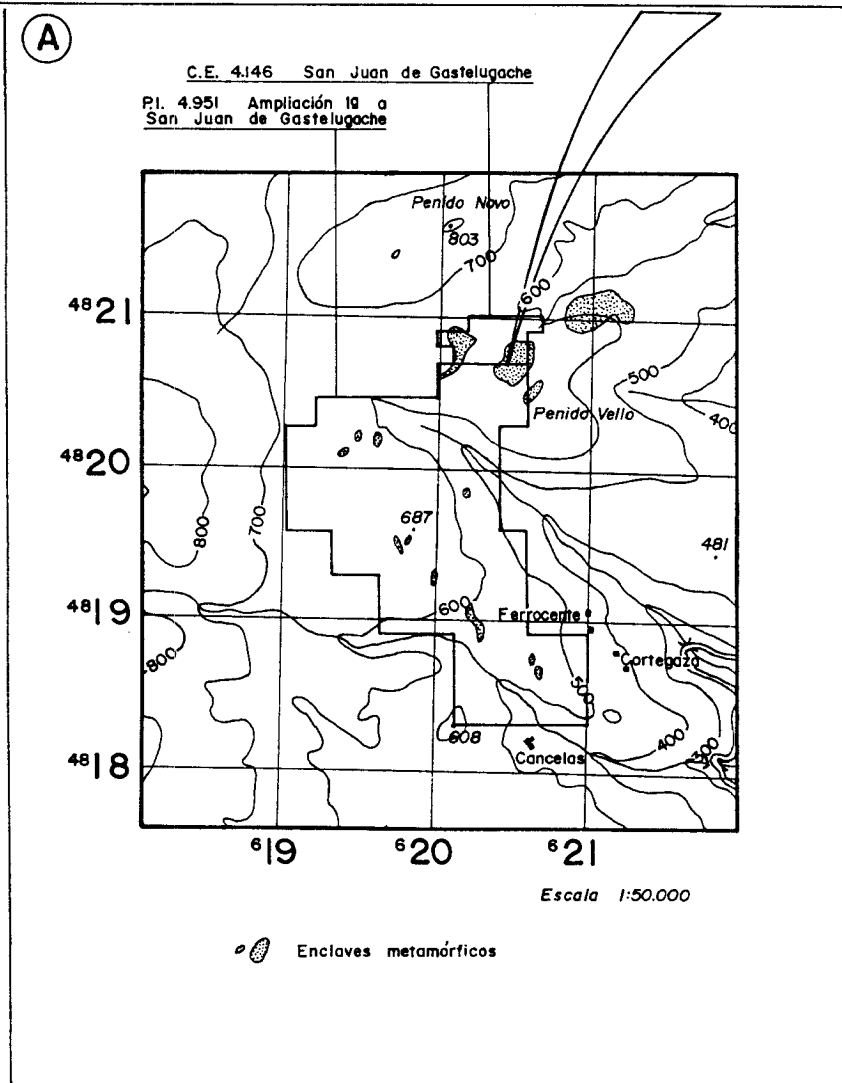
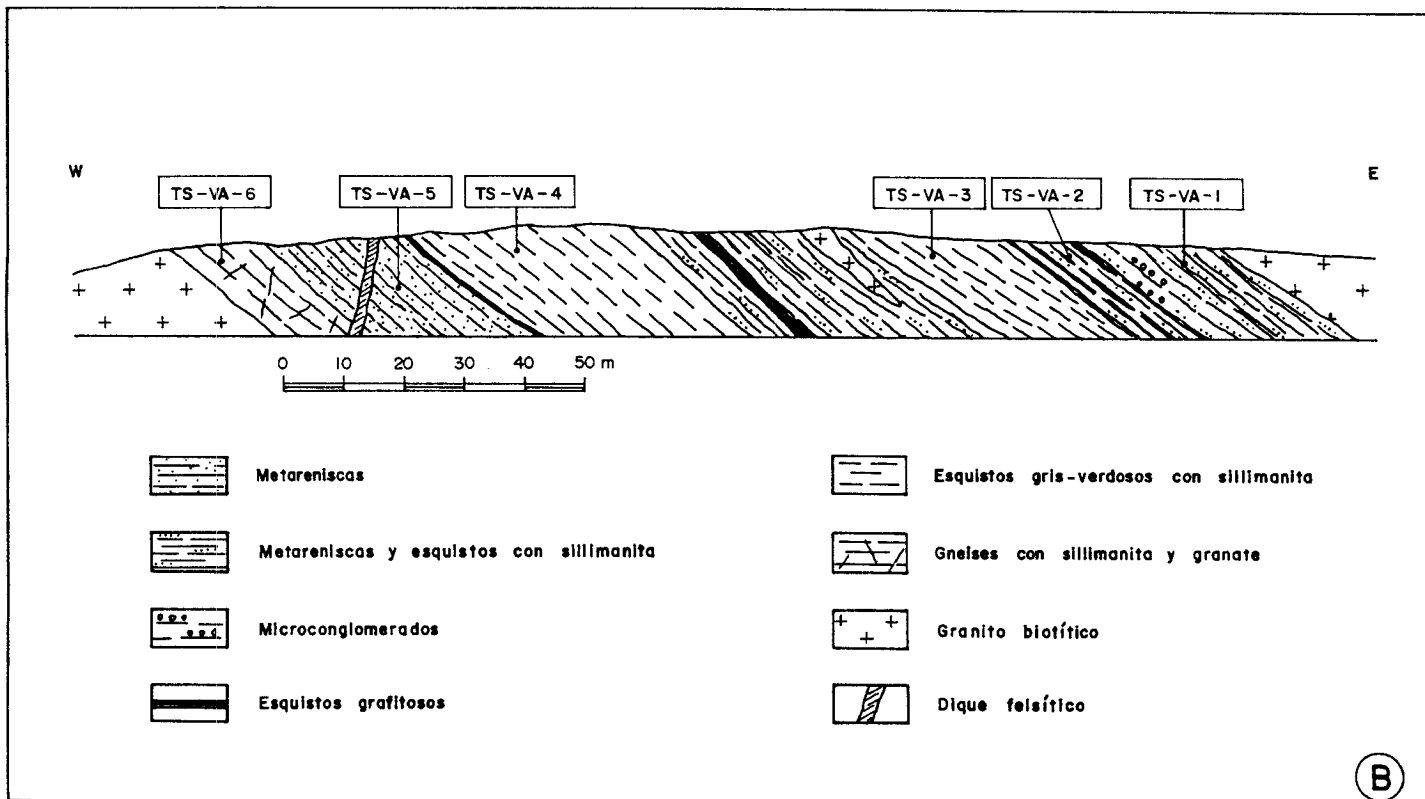


Fig. 7-6.- A. Situación de permisos mineros y principales enclaves metamórficos.

B. Sección a lo largo de una calicata en uno de los enclaves y situación de muestras.

7.8. Zona de Oirán

Situación geográfica y geológica

Esta zona se sitúa muy próxima a la de Valadouro (ver Plano Nº 1 y Fig. 7-5), al E de la localidad de Oirán (Mondoñedo - Lugo), en el límite entre las Hojas del M.T.N. Nº 9 (Foz) y 24 (Mondoñedo).

Se trata de un sector adyacente al borde del Plutón granítico de La Tojiza que se encuentra dentro de la aureola de metamorfismo de contacto producida por dicho granito. Los materiales afectados por el metamorfismo de contacto son formaciones sedimentarias del Cámbrico y Ordovícico.

Antecedentes

Al igual que la zona anterior, ésta también se incluye dentro de las zonas estudiadas en la "Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste" (I.G.M.E. 1977).

Características de la mineralización

En los afloramientos de pizarras gris-oscuro de la Formación Luarca se observa una notable cantidad de andalucita (quiasolita) en forma de pequeños cristales prismáticos (1 mm de sección y en torno a 1 cm de longitud) orientados según las superficies de la foliación principal.

La proporción y el tamaño de los cristales de andalucita varía ligeramente para los distintos tramos de la serie, cuyo espesor medio es de 90-100 m.

Valoración minera de la zona

El interés de esta zona es muy limitado, teniendo en cuenta los tamaños tan pequeños que presenta la andalucita, que impiden plantearse de entrada la obtención de productos con granulometría superior a 1 mm.

7.9. Zona de Rao-Donís

Situación geográfica y geológica

La zona constituye un sector rectangular que se extiende entre las localidades de Rao (Navia de Suarna) y Donís (Cervantes), al E de la provincia de Lugo, correspondiendo a la parte más oriental de las Hojas del M.T.N. Nº 99 (Becerreá) y 125 (Los Nogales).

Esta zona se sitúa en el área afectada por la aureola metamórfica del Granito de Ancares, dentro del Dominio del Navia y Alto Sil (Zona Asturoccidental-Leonesa).

Antecedentes

Constituye una de las zonas investigadas en la "Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste" (I.G.M.E. 1977).

Características de las mineralizaciones

Las rocas en las que aparece andalucita corresponden a dos formaciones ordovícicas: las Pizarras de Luarca y la Formación Agüeira. La andalucita es especialmente abundante en determinados tramos pizarrosos de estas formaciones y se presenta en forma de pequeños blastos prismáticos de color blanco orientados al azar, a veces muy sericitizados.

Ensayos de concentración

Se han realizado pruebas de concentración con una muestra procedente de las Pizarras de Luarca (TS-RD-3), siguiendo el proceso descrito para anteriores muestras con andalucita,

aunque sin llegar a aplicar la separación magnética, puesto que los concentrados obtenidos mediante la separación en bromoformo tenían contenidos en Al_2O_3 inferiores al 33%.

Valoración minera de la zona

A pesar de los resultados negativos en el ensayo de concentración, no parece razonable descartar totalmente el interés de esta zona, puesto que las mineralizaciones tienen características algo diversas según las litologías y son relativamente abundantes. Sería necesario hacer un estudio más detallado para llegar a una conclusión definitiva.

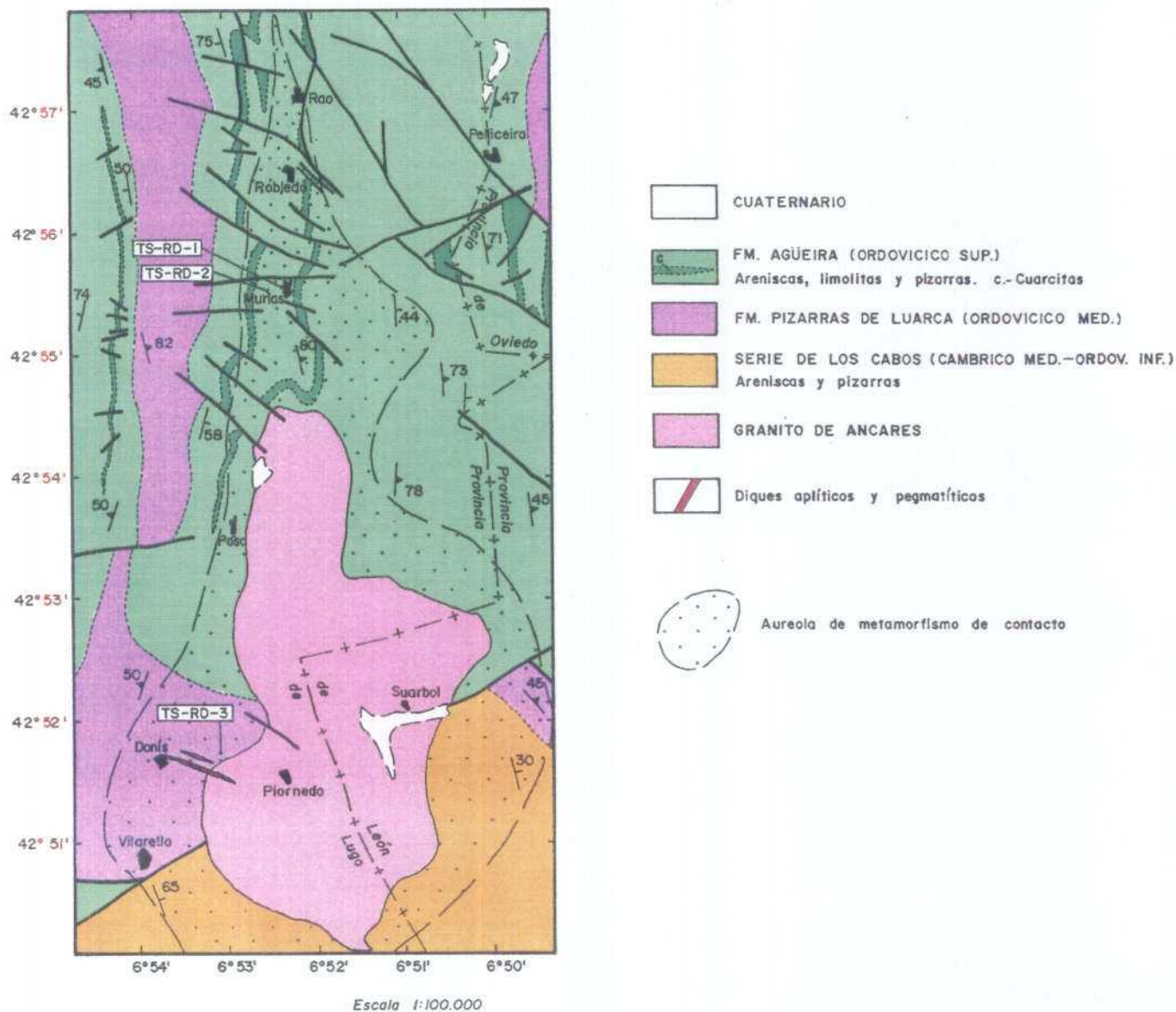


Fig. 7-7.- Esquema geológico de la Zona de Rao-Donís y situación de muestras.

7.10. Zona de Cela

Situación geográfica

Esta zona constituye un pequeño sector situado en torno a la localidad de Cela (Villafranca del Bierzo - León), en el ángulo suroccidental de la Hoja del M.T.N. Nº 126 (Vega de Espinareda). (Ver Plano Nº 1 y Fig. 7-8).

Aunque se encuentra fuera de Galicia, se ha incluido esta zona en el estudio por su proximidad al límite de la provincia de Lugo y por la relación geológica que guarda con la Zona de Rao-Donís.

Antecedentes

Esta zona aparece también incluida entre las estudiadas en la "Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste" (I.G.M.E 1977).

Características de la mineralización

Dentro de la zona afloran rocas correspondientes a varias formaciones del Paleozoico Inferior. La andalucita aparece en las pizarras gris-oscuras de la Formación Luarca, a lo largo de unos 2 km, desde la localidad de Cela hacia el NW.

Se trata de quiastolita en forma de haces radiales de cristales prismáticos, de color blanco a ligeramente rosado (ver Fotografía 30). Las dimensiones de los prismas individuales son de 2-3 mm de sección por 2-4 cm de longitud.

El origen de este metamorfismo de contacto local puede ser alguna apófisis granítica que no llega a ser observada en superficie.



Fotografía 30.- Pizarras con haces radiales de cristales prismáticos de quiastolita (Cela).

Ensayos de concentración

Al igual que en la zona anterior, también en ésta se hicieron pruebas de concentración con una de las muestras tomadas (TS-CE-3), con resultados también similares.

Hay que indicar que en el análisis por difracción de R-X no se identificó la andalucita, lo cual puede deberse a que ésta se encontrase casi totalmente sericitizada.

Valoración minera de la zona

Los comentarios que pueden hacerse en relación con el interés de esta zona son, en parte, semejantes a los que se han hecho para la Zona de Rao-Donís.

En este caso, la mineralización presenta unas características más homogéneas y una distribución más definida que las de la zona anterior. Por tanto, para poder descartar o no sus posibilidades de explotación, bastaría con incidir algo más en el estudio mineralógico del material y, si se ve conveniente, realizar nuevos ensayos de concentración.

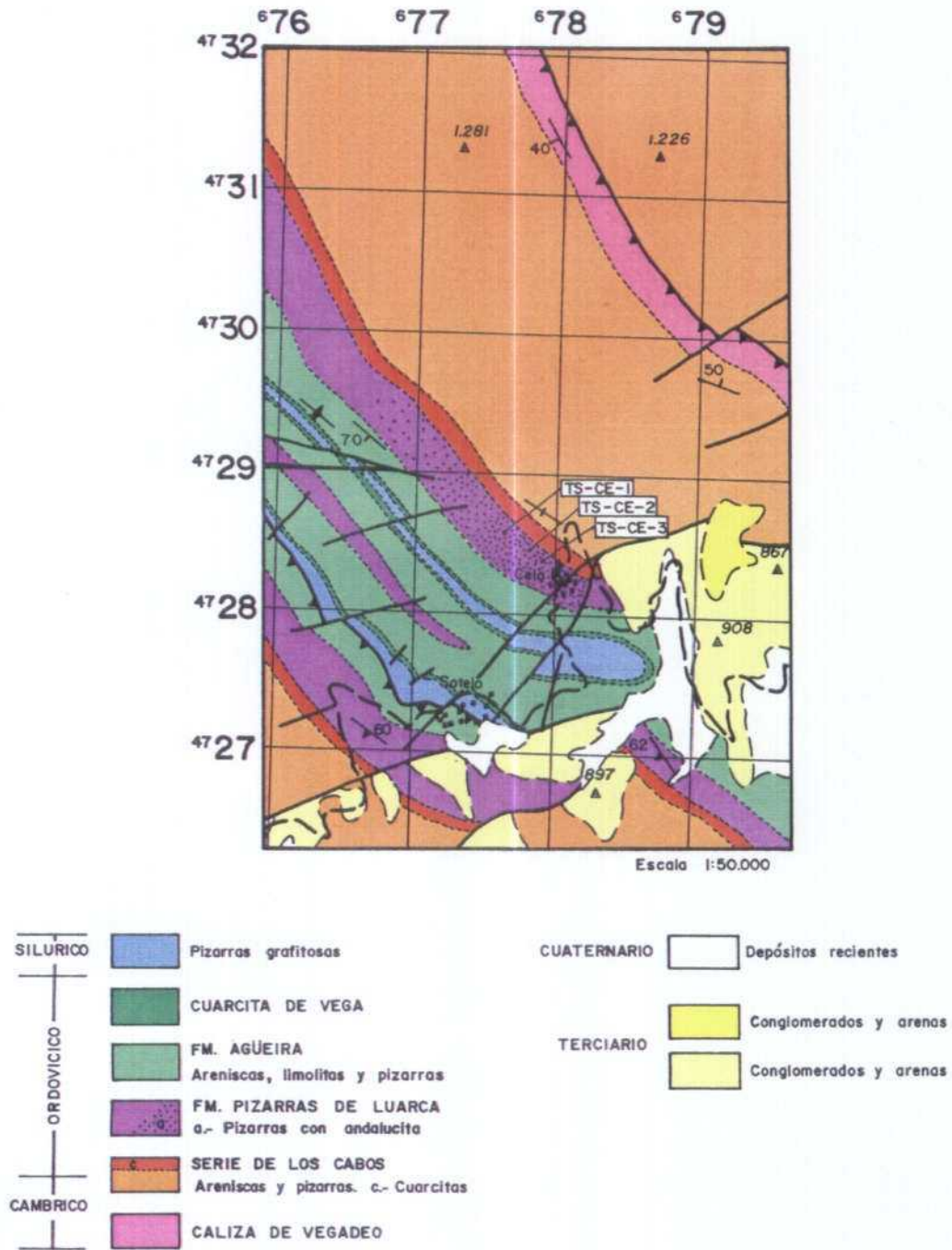


Fig. 7-8.- Esquema geológico de la Zona de Cella y situación de muestras.

7.11. Otros indicios

Moreiras

En torno a la localidad de Moreiras (Boborás - Ourense) se citan varios indicios de andalucita tanto en el Mapa Metalogénico de España como en Mapa Minero-Metalogénico de Galicia. Solamente uno de estos indicios ha podido ser localizado.

El indicio se localiza en el punto de coordenadas Lambert 229.7-884.2, en el ángulo NE de la Hoja del M.T.N. Nº 186 (Ponte Caldelas). (Ver Plano Nº 1).

En el referido punto existe una calicata de dirección N-S con unos 25 m de longitud, 1 a 1,5 m de anchura y unos 2 m de profundidad. También aparece una pequeña acumulación de escombros constituidos esencialmente por esquistos y cuarzo.

De acuerdo con las muestras que se han podido recoger entre los fragmentos sueltos, parece tratarse de un filón de cuarzo subvertical conteniendo cristales prismáticos y agregados de andalucita. Asociada a la andalucita suele aparecer moscovita.

Las rocas encajantes son micaesquistos pertenecientes al Grupo de Paraño, con una foliación principal de orientación 260/30.

Valduide

Este indicio aparece citado en el Mapa Minero-Metalogénico de Galicia y se sitúa al E de la localidad de Orosa (Irixo - Ourense), dentro de la Hoja del M.T.N. Nº 154 (Lalín). (Ver Plano Nº 1).

En torno al punto de coordenadas Lambert 239.7-887.9, afloran materiales esquistosos pertenecientes a los Grupos de Santabaia y Nogueira, muy próximos al contacto con un granito. También se observan filones de cuarzo de diversos tamaños. Los afloramientos son escasos y tan sólo se ha podido comprobar la presencia de algún fragmento suelto de cuarzo con prismas de andalucita de tamaño centimétrico.

Fraga

A unos 3 km al N de la localidad de Fraga (Lobeiras - Ourense) , junto a la frontera con Portugal y dentro de la Hoja del M.T.N. Nº 263 (Celanova), existe un Permiso de Investigación que abarca un pequeño sector dentro de un área donde afloran esquistos con intercalaciones cuarcíticas y granitos de anatexia. Son relativamente frecuentes las venas de cuarzo con cristales prismáticos y agregados de andalucita de tonos rosados a ligeramente grisáceos, aunque la dispersión que presentan hace suponer que no sea posible su aprovechamiento.

8. SINTESIS Y CONCLUSIONES

- Se ha dado, en primer lugar, una visión general acerca de los denominados "Minerales Silicoaluminosos", y, más concretamente, de los tres más importantes: andalucita, distena y sillimanita, que son los más frecuentemente utilizados para la fabricación de materiales refractarios de alto contenido en alúmina (tipo mullita).
- Los yacimientos de andalucita, distena y sillimanita han sido clasificados, de acuerdo con su génesis, en tres tipos principales: Metamórficos, Sedimentarios y Residuales.
- Tras la revisión de todos los indicios de estos minerales de los que se tenía alguna referencia, en el ámbito de Galicia, se han llegado a delimitar diez zonas de interés potencial para desarrollar en ellas la investigación.
- Se ha estudiado una zona con mineralizaciones de distena-sillimanita (Zona de O Pino-Touro), una zona con mineralizaciones de sillimanita (Zona de Valadouro) y ocho zonas con mineralizaciones de andalucita (Zonas de Xuno, Monteferro-Rosal, Cabo de Home, Portonovo, Verín, Oirán, Rao-Donís y Cela); esta última se encuentra en la provincia de León, próxima al límite con la provincia de Lugo.
- En la Zona de O Pino-Touro existen mineralizaciones de origen metamórfico, sedimentario y residual. Los depósitos sedimentarios de tipo aluvio-coluvial son los más interesantes para la explotación, y en ellos se realizan actualmente las únicas labores de extracción de este tipo de minerales en España. Se trata habitualmente de depósitos de poco espesor y pequeña extensión, que aparecen dispersos en un área bastante amplia.

- En la Zona de Valadouro aparecen una serie de enclaves metamórficos con abundante sillimanita que, aunque no representan un volumen de recursos muy elevado, sí tienen características apropiadas para plantear su explotación. No obstante, aún no se ha llegado a encontrar un proceso de concentración adecuado que permita un aprovechamiento rentable de estas mineralizaciones.
- De las ocho zonas con mineralizaciones de andalucita, deben destacarse como más interesantes las de Monteferro-Rosal y Verín. En los dos casos se trata de áreas extensas en las que aparecen diversos tipos de mineralizaciones de origen metamórfico. Los resultados obtenidos en los ensayos de concentración, con algunos de los esquistos con andalucita de estas zonas, ofrecen buenas perspectivas en cuanto a su posible explotación.
- Las Zonas de Cabo de Home y Portonovo presentan mineralizaciones más o menos similares a las de la Zona de Monteferro-Rosal, aunque con menor variedad de tipos y desarrollo más reducido.
- En las Zonas de Rao-Donís y Cela existen mineralizaciones de andalucita originadas por metamorfismo de contacto en pizarras. Los ensayos de concentración realizados han dado malos resultados con estos materiales, aunque este hecho no es suficiente para desechar el interés potencial de ambas zonas.
- La andalucita que aparece en la Zona de Oirán también se encuentra relacionada con una aureola de metamorfismo de contacto, aunque apenas tiene interés a causa del reducido tamaño que presenta este mineral.
- En la Zona de Xuno existe un depósito sedimentario de tipo coluvial que contiene andalucita. El sector del depósito en

el que aparece andalucita es bastante reducido y se estima que el contenido medio es demasiado bajo para que su explotación pueda ser rentable.

- En síntesis, puede concluirse que los Minerales Silicoaluminosos y, en particular, la andalucita, son relativamente abundantes en Galicia y existen zonas en las que se están llevando a cabo investigaciones con vistas a la posible puesta en marcha de nuevas explotaciones. Al mismo tiempo, cabe la posibilidad de descubrir nuevas áreas de interés, y, en este sentido, se indican a continuación algunas orientaciones para la exploración futura, deducidas del contexto geológico en que se sitúan las diversas zonas estudiadas:
 - En principio, los yacimientos más interesantes son los originados por procesos metamórficos en rocas de composición favorable para el desarrollo de estos minerales (alto contenido en Al_2O_3 y SiO_2).
 - Dentro de la Zona Asturoccidental-Leonesa, las mineralizaciones aparecen fundamentalmente en sectores afectados por metamorfismo de contacto, a lo largo de dos bandas metamórficas o ejes térmicos principales: la banda de Boal-Ancares-Ponferrada (Zonas de Rao-Donís y Cela) y la de Vivero-Lugo-Sarria (Zonas de Valadouro y Oirán). Las litologías más favorables se encuentran en las Pizarras de Luarca y en la Formación Agüeira.
 - En la Zona Centroibérica y en la Zona de Galicia-Tras-os-Montes, las áreas más interesantes se encuentran en sectores en los que se han producido fenómenos de plutonometamorfismo. Pueden destacarse dos grandes unidades litoestratigráficas que contienen litologías favorables: el Complejo El Rosal-La Lanzada-Xuno (Zonas de Monteferro-Rosal, Cabo de Home y Portonovo) y el Grupo de Santabaia (Zona de Verín).

- Por último, como complemento a estas conclusiones, pueden indicarse también algunas experiencias en relación con la metodología de investigación de estas sustancias:
 - En la fase de investigación inicial, es preciso identificar y caracterizar los distintos tipos de mineralización que puedan aparecer, siendo de particular utilidad el estudio petrográfico en lámina delgada y el análisis mineralógico por difracción de R-X, que pueden dar una buena orientación en cuanto a la calidad, tamaño de liberación y posibilidad de separación del mineral.
 - Una vez definidas las mineralizaciones más interesantes y su distribución cartográfica, y antes de descender a estudios de mayor detalle, conviene realizar ensayos de concentración a escala de laboratorio, hasta obtener resultados positivos. Las técnicas más adecuadas para emplear en estos ensayos son las de concentración en medio denso y separación magnética de alta intensidad.
 - Si se logran obtener concentrados que cumplan las especificaciones comerciales, puede pasarse al estudio minero detallado de los cuerpos mineralizados y, paralelamente, diseñar y optimizar el proceso de concentración con ensayos semi-industriales.

9. BIBLIOGRAFIA

- ABRIL HURTADO, J. e IGLESIAS, M. (1985).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Pontevedra-La Guardia (16/26, 1-3/1-4) del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- BUISSKOOL TOXOPEUS, J.M.A.; HAALEBOS, P.E.M. y VAN OVERMEEREN, F.A. (1978).- An outline of the petrology and structural geology of the Hercynian complex south of Vigo (Pontevedra, Spain). Cuad. Sem. Est. Cer. Sargadelos, 27, 93-110.
- BARRERA, J.L.; FARIAS, P.; GONZALEZ-LODEIRO, F.; MARQUINEZ, J.; MARTIN PARRA, L.M.; MARTINEZ CATALAN, J.R.; OLMO SANZ, A. del y PABLO MACIA, J.G. de (1989).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Ourense-Verín (17/27, 2-3/2-4) del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Inst. Tecn. GeoMin. España, Madrid.
- BASTIDA, F.; MARCOS, A.; MARQUINEZ, J.; MARTINEZ CATALAN, J.R.; PEREZ-ESTAUN, A. y PULGAR, J.A. (1984).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de La Coruña (1/2-1) del Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- CARROLL, J. y MATTHEWS, G.W. (1983).- Sillimanite minerals as raw materials for refractories. Industrial Minerals, Refractories Supplement 1983, 47-53.
- CLARKE, G.M.; DICKSON, E.M. y GRIFFITHS, J.B., Eds. (1984).- A profile of the Williamstown Kaolin-Sillimanite-mica deposits. Industrial Minerals, Enero 1984, 37-40.
- CLARKE, G.M.; DICKSON, E.M. y GRIFFITHS, J.B., Eds. (1985).- Sillimanite minerals - Europe places demands on Andalusite. Industrial Minerals, Enero 1985, 41-63.

- CAMPILLO, G.; GUITIAN RIVERA, F. y VARELA, A. (1981).- La Cianita de O Pino (Santiago). Caracterización, purificación y aplicaciones. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 2, 143-155.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. y ZUSSMAN, J. (1962).- Rock forming minerals. Vol. 1: Ortho- and Ring Silicates. Longman Group Ltd., Londres.
- DIAZ GARCIA, F. (1988).- La geología del sector occidental del Complejo de Ordenes (Cordillera Hercínica, NW de España). Tesis Doctoral. Univ. Oviedo, 230 pp.
- ESPENSHADE, G.H. y POTTER, D.B. (1960).- Kyanite, Sillimanite, and Andalusite Deposits of the Southeastern States. U.S. Geological Survey, Professional paper 336.
- FARIAS, P. (1990).- La geología de la Región del Sinforme de Verín (Cordillera Herciniana, NW de España). Serie Nova Terra, Nº 2. Ediciós do Castro, Sada-A Coruña.
- FARIAS, P.; GALLASTEGUI, G.; GONZALEZ LODEIRO, F.; MARQUINEZ, J.; MARTIN PARRA, L.M.; MARTINEZ CATALAN, J.R.; PABLO MACIA, J.G. de y RODRIGUEZ FERNANDEZ, L.R. (1987).- Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central. Mem. Mus. Labor. miner. geol., Fac. Ciências do Porto, 1, 411-431.
- GONZALEZ LODEIRO, F.; HERNANDEZ URROZ, J.; KLEIN, E.; MARTINEZ CATALAN, J.R. y PABLO MACIA, J.G. de (1982).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Lugo (8, 2-2) del mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- HOLDAWAY, M.J. (1971).- Stability of Andalusite and the aluminum silicate phase diagram. American Journal of Science, 271, 97-131.

- I.G.M.E. (1975a).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Santiago de Compostela (7) del Mapa Metalogenético de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- I.G.M.E. (1975b).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Lugo (8) del Mapa Metalogenético de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- I.G.M.E. (1975c).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Pontevedra-La Guardia (16-26) del Mapa Metalogenético de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- I.G.M.E. (1975d).- Mapa y memoria explicativa de la Hoja de Orense (17) del Mapa Metalogenético de España a escala 1:200.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- I.G.M.E. (1975e).- Monografías de Rocas Industriales. Rocas Silicoaluminosas. Colección Informe. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- I.G.M.E. (1977).- Exploración de Menas Aluminosas en la Reserva Noroeste. Centro Documental del I.T.G.E., Nº 10.582.
- I.G.M.E. (1981).- Concentración de Sillimanitas de Valle de Oro (Lugo). Centro Documental del I.T.G.E., Nº 10.738.
- I.G.M.E. (1982).- Mapa Minero-Metalogénico de Galicia a escala 1:400.000. Inst. Geol. Min. España, Madrid.
- I.G.M.E. (1988).- Panorama Minero 1986. Inst. Geol. Min. España, Madrid.

- MARTINEZ CATALAN, J.R.; KLEIN, E.; PABLO MACIA, J.G. de y GONZALEZ LODEIRO, F. (1985).- El Complejo de Ordenes: Subdivisión, descripción y discusión sobre su origen. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, 7, 139-210.
- MUCHART, H. y KOEGEL, H. (1976).- 'Kerphalite' - Europe's own source of high-alumina andalusite for refractories. 2nd 'Industrial Minerals' International Congress, Munich 1976, 121-132.
- POTTER, M.J. (1984).- Kyanite and related materials. In: Minerals Yearbook, 1984 - Vol.I, 559-562.
- ROBIE, R.A. y HEMINGWAY, B.S. (1984).- Entropies of kyanite, andalusite, and sillimanite: additional constraints on the pressure and temperature of the Al_2SiO_5 triple point. American Mineralogist, 69, 298-306.
- ROSKILL (1987).- The economics of kyanite group minerals 1987. Roskill Information Services Ltd., Londres. 5ª Edic.
- WINKLER, H.G.F. (1978).- Petrogénesis de rocas metamórficas. H. Blume Ediciones, Madrid.

* * *

ANEXOS

A N E X O I: RELACION DE MUESTRAS

M: Estudio microscópico en lámina delgada
 Q: Análisis químico
 D: Análisis mineralógico por difracción de R-X
 EC: Ensayos de concentración

ZONA DE O PINO-TOURO

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-PT-1	Paragneis con granate	M
TS-PT-2	Canto de distena gris azulada	M Q D
TS-PT-3	Distena gris-clara	Q
TS-PT-4	Distena gris-azulada	M Q
TS-PT-5	Paragneis con porfiroblastos de distena	M
TS-PT-6	Cuarzo y distena procedentes de un filón	D
TS-PT-7	Vena de cuarzo con distena	
TS-PT-8	Esquisto con porfiroblastos de distena	M
TS-PT-9	Paragneis con porfiroblastos de distena	M
TS-PT-10	Esquisto con porfiroblastos de distena	M
TS-PT-11	Esquisto feldespático con granate (fragmento de un testigo de sondeo)	M
TS-PT-12	Distena gris-azulada	D
C-1	Concentrado de distena	Q D EC
C-2	Rechazo gruesos (gravas)	Q D EC
C-3	Rechazo finos (limos, arenas y gravas)	Q D EC

ZONA DE XUNO

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-XU-1	Micaesquisto	
TS-XU-2	Andalucita rosada con micas	Q
TS-XU-3	Andalucita gris-rosada	Q
TS-XU-4	Todo uno	Q
TS-XU-5	Todo uno	Q

ZONA DE MONTEFERRO-ROSAL

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-MR-1	Micaesquisto con andalucita	Q D
TS-MR-2	Andalucita filoniana	
TS-MR-3	Micaesquisto con andalucita (similar a C-4)	M
TS-MR-4	Micaesquisto con andalucita (similar a C-5)	M
TS-MR-5	Micaesquisto con andalucita	M
TS-MR-6	Paragneis andalucítico	
C-4	Micaesquisto con andalucita	M Q D EC
C-5	Micaesquisto con andalucita	M Q D EC
C-8	Micaesquisto con andalucita	Q D EC
C-9	Micaesquisto con quiasolita	Q D EC
C-10	Micaesquisto con quiasolita	M

ZONA DE CABO DE HOME

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-CH-1	Andalucita gris-oscura	Q

ZONA DE VERIN

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-VE-1	Esquisto andalucítico	M Q D
TS-VE-2	Esquisto andalucítico	
TS-VE-3	Esquisto andalucítico	
TS-VE-4	Esquisto andalucítico	
TS-VE-5	Esquisto andalucítico	
C-6	Esquisto andalucítico	Q D EC
C-7	Esquisto andalucítico	Q D EC

ZONA DE VALADOURO

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-VA-1	Esquisto con sillimanita	
TS-VA-2	Esquisto con sillimanita	M
TS-VA-3	Esquisto con sillimanita	
TS-VA-4	Esquisto con sillimanita	M Q D
TS-VA-5	Metarenisca	
TS-VA-6	Gneis con sillimanita y granate	M

ZONA DE OIRAN

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-OI-1	Pizarra con andalucita	

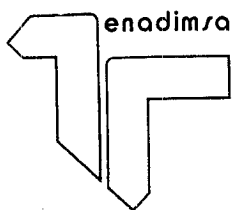
ZONA DE RAO-DONIS

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-RD-1	Pizarra con andalucita	
TS-RD-2	Pizarra con andalucita	
TS-RD-3	Pizarra con andalucita	Q D EC

ZONA DE CELA

Referencia	Descripción	Estudios realiz.
TS-CE-1	Pizarra con andalucita	Q D
TS-CE-2	Pizarra con andalucita	
TS-CE-3	Pizarra con andalucita	Q D EC

A N E X O II : ESTUDIOS PETROGRAFICOS,
ANALISIS QUIMICOS Y
MINERALOGICOS



ANALISIS DE CARBONES Y ESTUDIOS
PETROGRAFICOS Y METALOGENICOS

ESTUDIO PETROGRAFICO
DE SEIS MUESTRAS DE GALICIA

INSTITUTO TECNOLOGICO
Y GEOMINERO DE ESPAÑA

Octubre 1989



e. n. adaro
de investigaciones mineras s.a.

Muestra: TS-PT-1

Clasificación Petrográfica: Paragneis bimicáceo con granate, sillimanita y estauro-lita.

Caracteres texturales: Porfidogranolepidoblástico.

Composición mineralógica:

- . Componentes principales: Plagioclasa (albita) - cuarzo - moscovita - biotita - granate.
- . Componentes accesorios: Sillimanita - estauro-lita - clorita - rutilo - opaco - m. de hierro.

Alteraciones hidrotermales:

- . Incipiente cloritización de los fenoblastos de granate y de la biotita.

OBSERVACIONES:

- . Esquistosidad de crenulación, casi perpendicular a la principal.

- . Los porfidoblastos más numerosos son los de granate; cortan a la esquistosidad pero su vez ésta se flexiona alrededor de ellos.
- . Puntualmente se ha encontrado algún fenoblasto de albита y de estaurolita.
- . Banda de cuarzo granoblástico grueso, de exudación.

Muestra: TS-PT-4

Clasificación Petrográfica:

Caracteres texturales: Nematoblástico fino.

Composición mineralógica:

- . Componentes principales: Mineral fibroso no determinado.
- . Componentes accesorios: Moscovita - biotita - opacos.

OBSERVACIONES:

- . La lámina delgada esta compuesta en el 95% de su superficie, por un mineral fibroso, incoloro a amarillo pardo, de alto relieve, mediana birrefringencia y extinción recta o subrecta, no identificado.
- . Debido a que existen varias especies minerales con similares características ópticas, para su identificación se requiere el conocer los datos de afloramiento y de la muestra macroscópica. Además, si se envía la muestra de mano, puede analizarse, con mayor certeza, mediante difracción de Rayos X.

Muestra: TS-VE-1

Clasificación Petrográfica: Micaesquisto corneánico con andalucita.

Caracteres texturales: Porfidolepidoloblástico.

Composición mineralógica:

- . Componentes principales: Andalucita - moscovita - clorita.
- . Componentes accesorios: Turmalina - mineral de hierro.

Estudio de Alteraciones:

Como procesos de alteración, que desestabilizan la paragénesis de metamorfismo de contacto, se observan:

- 1.- Moscovitización parcial de la andalucita, de temperatura neumatolítico-hidrotermal. Dentro de esta etapa puede incluirse la formación de pequeñas turmalinas.
- 2.- Cloritización de la biotita, probablemente de temperatura inferior a 1.

OBSERVACIONES:

- . Vistosos y frecuentes fenoblastos, idiomórficos, de andalucita, de 0,4 a 1 cm de tamaño. Están ligeramente

moscovitizados y presentan inclusiones pulverulentas de grafito y opacos, en los núcleos. Cortan a la esquistosidad.

Muestra: TS-VA-2

Clasificación Petrográfica: Micaesquisto cuarzoso, corneánico, con sillimanita.

Caracteres texturales: Porfidogranoblástico orientado.

Composición mineralógica:

- . Componentes principales: Cuarzo - moscovita - sillimanita - biotita - opacos - m. de hierro.
- . Componentes accesorios: Opacos - m. de hierro.

Estudio de alteraciones

- . No se observan alteraciones hidrotermales aunque, de mayor temperatura, en el rango neumatolítico, se puede citar, la moscovitización de la sillimanita.

OBSERVACIONES:

- . Frecuentes fenoblastos, de tamaño milimétrico, de moscovita y en menor proporción, de biotita. A menudo se agrupan en agregados e incluyen cristales de sillimanita prismática y/o fibrolítica.

- . Los cristales de cuarzo forman un mosaico finogranoblástico. Son equidimensionales y presentan contornos rectilíneos.
- . La sillimanita fibrolítica es quizás, más abundante que la prismática, se halla en madejas que marcan el bandeo de la roca y en agujas aisladas incluidas en el cuarzo.
- . Abundantes opacos tabulares (ilmenita?).

Muestra: TS-VA-4

Clasificación Petrográfica: Micaesquisto de dos micas con sillimanita.

Caracteres texturales: Porfidogranoblástico orientado.

Composición mineralógica:

- . Componentes principales: Biotita - sillimanita - moscovita - cuarzo.
- . Componentes accesorios: Opacos - m. de hierro - circon.

OBSERVACIONES:

- . Lámina delgada en mal estado. Se trata de un micaesquisto sillimanítico compuesto por grandes porfidoblastos de biotita, moscovita y sillimanita.
- . La moscovita es muy escasa en relación con la biotita.
- . Probablemente existiera algún otro componente en estado alterado y ésto ha originado la dificultad de confección de la lámina y la presencia de huecos en la misma.

Muestra: TS-VA-6

Clasificación Petrográfica: Micasquisto biotítico - sillimanítico con granate.

Caracteres texturales: Porfidogranoblástico esquistoso.

Composición mineralógica:

- . Componentes principales: Biotita - cuarzo - sillimanita - granate.
- . Componentes accesorios: Plagioclasa - opacos - circon.

OBSERVACIONES:

- . Aislados porfidoblastos xenomórficos de granate; pueden incluir cuarzo y sillimanita acicular.
- . La proporción de biotita y sillimanita es muy elevada, aproximadamente el 50% de la roca.
- . La biotita se halla en microporfidoblastos que incluyen sillimanita y minúsculos circones.
- . La sillimanita dominante es la variedad fibrolítica, que aparece en madejas o haces elongadas marcando la

esquistosidad de la roca. También puede encontrarse algún fenoblasto elongado de sillimanita prismática.

**ESTUDIO PETROGRAFICO DE
ESQUISTOS CON POLIMORFOS DE ALUMINA
DE
GALICIA OCCIDENTAL**

DPTO. DE GEOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO. (PETROLOGIA Y GEOQUIMICA)

Relación de muestras con polimorfos de alúmina enviada por el Instituto Tecnológico Geominero de España para su estudio:

Referencia	Hoja M.T.N.	Localidad
TS-PT-2	95	Canto rodado de distena (Zona de Arca)
TS-PT-5	95	Esquistos y paraneises de Ordenes (Zona de O Pino-Touso).
TS-PT-8	"	
TS-PT-9	"	
TS-PT-11	"	
TS-MR-3	299	Micaesquistos del Complejo
TS-MR-4	"	Monteferro-El Rosal, con relictos.
TS-MR-5	"	poiquiloblásticos de andalucita (Zona de San Miguel de Tabagón)

Los estudios petrográficos en lámina de gran formato, fotomicrografías y conteo de puntos han sido llevados a cabo en nuestros laboratorios por los miembros del equipo de investigación Dña. Gloria Gallastegui Suárez y D. Andrés Cuesta Fernández.

En Oviedo, a 28 de Marzo, de 1990.



Fdo.: L.G. Corretgé Castañón.

Catedrático de Petrología y Geoquímica

ABREVIATURAS UTILIZADAS PARA LA DENOMINACION DE LOS
MINERALES EN LA DOCUMENTACION FOTOGRAFICA.

Q	_____	CUARZO
Pg	_____	PLAGIOCLASA
Mos	_____	MOSCOVITA
Bt	_____	BIOTITA
Cl	_____	CLORITA
And	_____	ANDALUCITA
Est	_____	ESTAUROLITA
Sill	_____	SILLIMANITA
Dis	_____	DISTENA
Gt	_____	GRANATE
Op	_____	OPACOS

MUESTRA TS-PT-2

MICROESTRUCTURA:

No se aprecia ningún tipo de microestructura en la lámina.

TEXTURA:

Granoblástica.

MINERALOGIA:

Sillimanita, Distena, Moscovita.

Accesorios: Opacos.

Secundarios: Sericita.

Está constituida casi exclusivamente por sillimanita y distena, formando en conjunto el 98% de la roca, junto con cantidades muy accesorias de moscovita y opacos.

La distena constituye aproximadamente un 25% de la roca y se encuentra principalmente como cristales subautomorfos o xenomorfos, aislados o en agregados de varios cristales, que aparecen como inmersos en una masa de sillimanita. Suele englobar pequeñas inclusiones de opacos.

La sillimanita es el componente mayoritario en la roca alcanzando porcentajes del 75%. Suele formar agregados de cristales de hábito prismático, en ocasiones con disposición fascicular o en abanico y según las evidencias texturales su desarrollo parece posterior al de la distena y muy probablemente a expensas de ella, ya que aunque a veces existe un límite muy neto entre ambas, es frecuente también observar procesos de sustitución de distena por sillimanita.

A pesar de no observarse ningún tipo de microestructura en la roca ambos silicatos muestran señales de deformación, aunque suelen manifestarse con mayor intensidad en los cristales de sillimanita, siendo frecuentes las extinciones ondulantes o anómalas, desarrollo de fracturas que llegan a provocar la rotura del cristal, y en el caso de la sillimanita pequeñas crenulaciones que pueden conducir al desarrollo de poligonizaciones.

La moscovita es muy escasa y se encuentra como cristales o agregados de cristales bien desarrollados o como agregados sericíticos microcristalinos, ocupando intersticios en la roca y sustituyendo o reemplazando (aunque muy escasamente) a la sillimanita.

CLASIFICACION: Agregado de sillimanita-distena.

LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-PT-2

- 1- Aspecto general de la lámina en la que se observan a simple vista cristales de distena y agregados de sillimanita de hábito prismático, en ocasiones con disposiciones fasciculares. No parece haber ningún tipo de estructura apreciable dentro del canto rodado.
- 2- Cristales subautomorfos de distena y agregados de sillimanita de hábito prismático cuyo desarrollo parece posterior a la distena. (N.C., x10, 3,2x/0,06).
- 3- Cristales de distena y agregados de sillimanita de hábito prismático cuyo crecimiento parece posterior al de la distena. (N.C., x10, 3,2x/0,06).
- 4- Como en las fotografías anteriores se observan cristales de distena y agregados de cristales de sillimanita de hábito prismático, así como algunos cristales de moscovita. (N.C., x10, 3,2x/0,06).

1



2



3



4



MUESTRA TS-PT-5

MICROTEXTURA:

Se caracteriza por presentar una marcada foliación metamórfica de tipo "schistosity" probablemente afectada posteriormente por una deformación rotacional que da lugar al desarrollo de una crenulación de tipo extensional.

TEXTURA:

Presenta una clara textura seriada o bandeada caracterizada por la alternancia de niveles o bandas de composición cuarzo-plagioclásicas, niveles, lechos o microlitones de cuarzo y bandas micáceas, cuya disposición pone claramente de manifiesto la foliación desarrollada en la roca. La textura puede definirse en general como porfidoblástica debido a la presencia, generalmente en relación con los niveles más micáceos, de blastos de granate y de silicatos de aluminio, mientras que para los niveles ricos en cuarzo la textura es claramente grano-lepidoblástica.

MINERALOGIA:

Cuarzo, moscovita, biotita, plagioclasa, granate, distena, sillimanita, estaurolita

Accesorios: opacos, apatito, rutilo (\pm leucoxeno), circón.

Secundarios: clorita, sericita-moscovita.

Estaurolita:

Es el más escaso de los silicatos de aluminio presentes en la roca aunque aparece como cristales xenomorfos de mayor tamaño que los de distena y sillimanita. Está siempre asociada con granate, distena y sillimanita, mostrando al igual que todos los anteriores un claro crecimiento precinemático. En cuanto a su relación con los minerales con los que aparece asociado, según las evidencias texturales, parece ser el primer silicato de aluminio en desarrollarse encontrándose siempre rodeada por agregados de cristales de distena y sillimanita y parcialmente transformada en sus bordes a sericita-moscovita. Respecto al granate, resultan difíciles de precisar sus relaciones de temporalidad, ya que aunque se encuentra en sus proximidades están separados por los agregados de distena y sillimanita antes citados, si bien, parece que el granate engloba algunas inclusiones de estaurolita.

Distena:

Se encuentra como agregados de cristales xenomorfos a subidiomorfos asociada con granate, estaurolita y en ocasiones únicamente con sillimanita, mostrando como se ha dicho anteriormente un crecimiento precinemático respecto a la estructura dominante en la roca. Su desarrollo es posterior al

de la distena y anterior al de la sillimanita. Respecto al granate, aunque la distena lo rodea o aparece en sus bordes, ocurre como en el caso de la estaurolita, también parece estar englobada como inclusiones dentro de algunos blastos de granate.

Sillimanita:

Forma agregados de cristales de hábito prismático que bordean a la estaurolita y distena creciendo muy probablemente a expensas de ésta última, según se desprende de los procesos de sustitución observados en la lámina. Posteriormente la sillimanita se encuentra parcialmente sustituida o transformada a sericita-moscovita.

Granate:

Se encuentra como blastos y poiquiloblastos (estos últimos principalmente en el sector de la roca exenta de silicatos de aluminio; parte inferior de la fotografía 1) con hábitos desde subidioblásticos a xenoblásticos, asociados a los silicatos de aluminio o bien de forma aislada, rodeados por la foliación general de la roca respecto a la que muestra un claro crecimiento precinemático. A este respecto se debe citar un blasto de granate que muestra dos etapas de crecimiento con un límite muy neto entre ambas, presentando una zona interna de tendencia idiomorfa y una corona externa de hábito más xenoblástico.

Puede englobar inclusiones de cuarzo, plagioclasa, biotita y posiblemente silicatos de aluminio. Muestra una alteración variable en intensidad pero que afecta a la mayor parte de los cristales, transformándose en agregados cloríticos y biotita verde o clorita oxidada siguiendo las trazas de exfoliación del cristal o bien sustituyéndolo casi en su totalidad.

Biotita:

Parece haber dos generaciones o episodios de crecimiento de biotita. Existe una primera biotita claramente precinemática respecto a la estructura dominante de la roca, que aparece deformada mostrando morfologías fusiformes, extinciones ondulantes, desarrollo de "Kink bands" y poligonitizaciones, la cual engloba opacos, moscovita y halos pleocroicos. Posteriormente parece existir otro episodio de crecimiento de biotita de hábito más xenoblástico, que crece en sombras de presión de los granates y silicatos de aluminio. Esta segunda generación de biotitas parece afectada por la deformación rotacional que deforma asimismo a la foliación general de la roca.

Moscovita:

Pueden distinguirse dos tipos de moscovita, uno de los cuales está representado por moscovitas integradas en las bandas más cuarzofeldespáticas, precinemáticas respecto a la

crenulación extensional que afecta a la roca, que aparecen intensamente deformadas, mostrando morfologías distorsionadas, crenulaciones, desarrollo de "Kink bands" y poligonizaciones. Por otro lado existen agregados de sericita-moscovita de carácter posiblemente secundario originados a partir de los silicatos de aluminio y blastos de granate presentes en la roca concentrándose en la periferia de los mismos.

CLASIFICACION: Esquisto feldespático rico en granates y silicatos de aluminio.

LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-PT-5

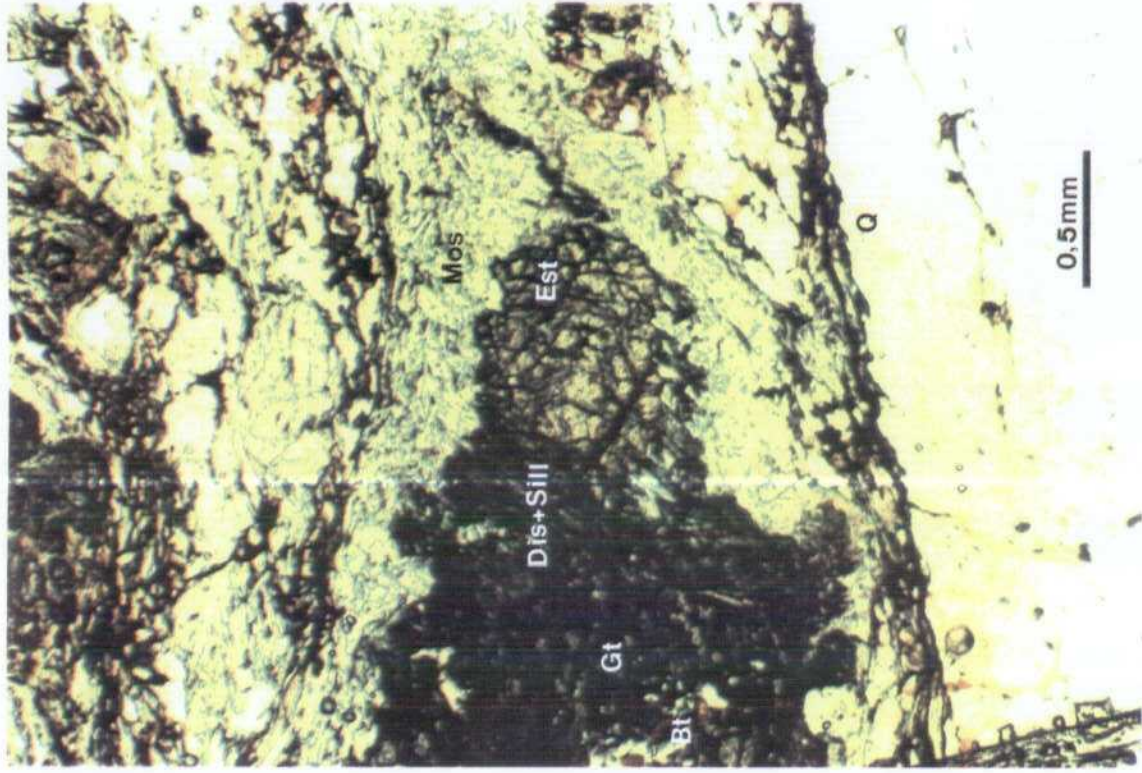
- 1- Aspecto general de la lámina en la que se observa un nivel superior rico en blastos de granate y silicatos de aluminio precinemáticos en relación con la foliación generalizada en la roca la cual está marcada por la disposición paralela de niveles ricos en filosilicatos y niveles o lechos cuarzosos (o cuarzo-plagioclásicos). La foliación parece afectada posteriormente por una crenulación de tipo extensional. El nivel inferior de la lámina muestra una marcada foliación y es más homogéneo destacando únicamente en tamaño algunos blastos de granate.
- 2- Granate parcialmente alterado a clorita-biotita y agregado constituido por estaurilita, distena, granate y sillimanita. Se trata de blastos precinemáticos respecto a la foliación generalizada de la roca que los rodea y que está marcada en la fotografía por la disposición orientada de biotitas y moscovitas. (L.C., x10, 3,2x/0,06).
- 3- Blastos de granate y silicatos de aluminio, estaurilita, distena y sillimanita, precinemáticos respecto a la foliación de la roca. (L.N., x10, 3,2x/0,06).
- 4- Cristales de granate precinemáticos respecto a la foliación de la roca evidenciada en la fotografía por la disposición orientada de moscovitas y cuarzo. Las moscovitas muestran procesos de poligonización relacionados con una crenulación posterior al desarrollo de la foliación más generalizada en la roca. (N.C., x10, 3,2x/0,06).
- 5- Cristal de granate casi totalmente transformado a biotita verde o clorita oxidada y otros de menor tamaño no alterados, de crecimiento precinemático respecto a la foliación de la roca que en la fotografía está marcada por la disposición de biotitas, moscovitas y cuarzo. (L.C., x10, 3,2x/0,06).
- 6- Blastos de granate asociado a un agregado de distena y sillimanita. La fotografía corresponde a un detalle de un agregado precinemático respecto a la foliación generalizada en la lámina. (N.C., x10, 10x/0,20).

1

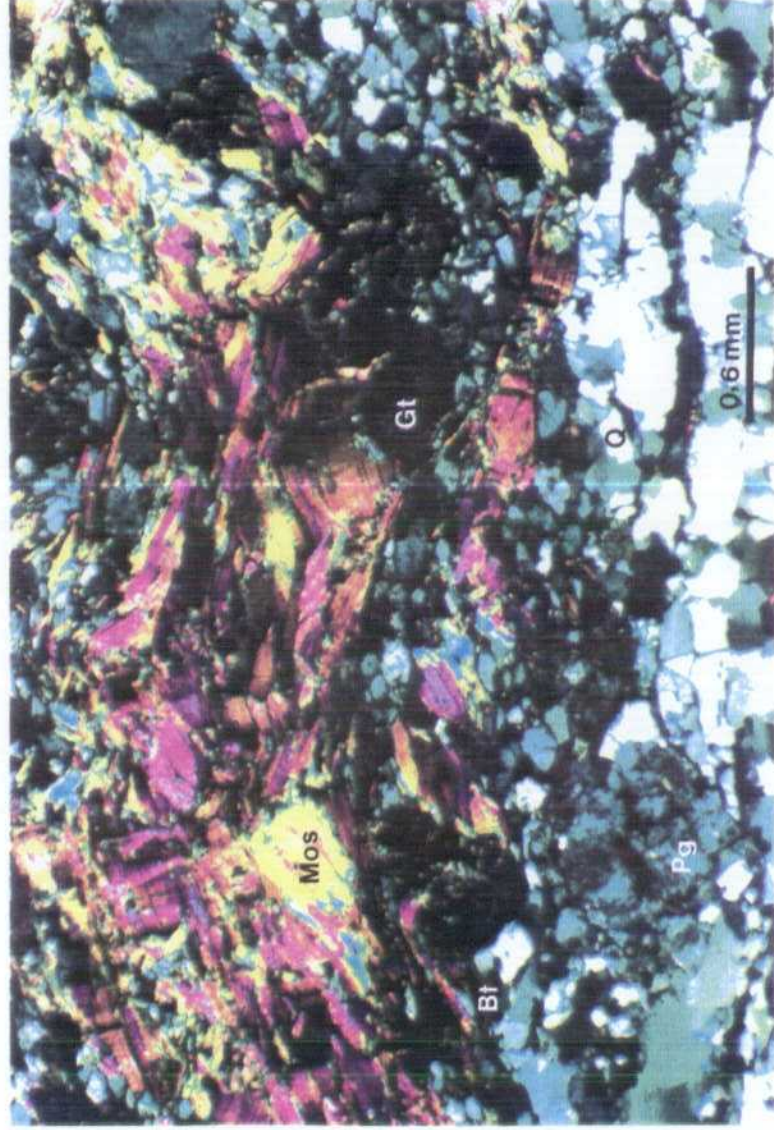


2



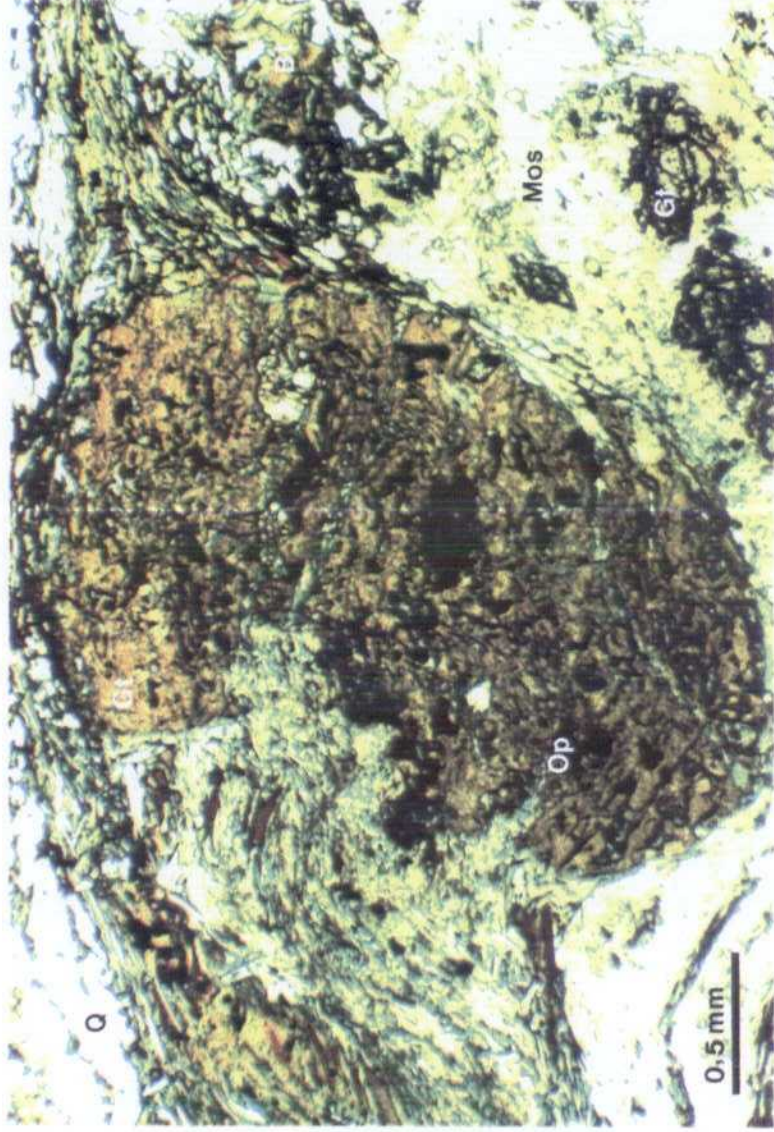


3



4

5



6



MUESTRA TS-PT-8

MICROESTRUCTURA:

Muestra una foliación metamórfica bien desarrollada, morfológicamente asignable a una "schistosity", que posteriormente se encuentra deformada por una deformación rotacional que da lugar al desarrollo de crenulaciones extensionales.

TEXTURA:

La textura es de tipo bandeado y está caracterizada por la alternancia de niveles cuarzo-plagioclásicos, micáceos y niveles o lechos de cuarzo, que son los que ponen de manifiesto la foliación de la roca. En general la textura puede definirse como porfidoblástica debido al desarrollo de blastos milimétricos de granate y silicatos de aluminio, principalmente asociados a los niveles más micáceos, mientras que los niveles más ricos en cuarzo presentan una textura grano-lepidoblástica.

MINERALOGIA:

Cuarzo, plagioclasa, biotita, moscovita, granate, estaurolita, distena, sillimanita.

Accesorios: opacos, apatito, circón, turmalina.

Granate:

Forma frecuentes xenoblastos de tamaño milimétrico y en ocasiones poiquiloblastos que engloban inclusiones de cuarzo, biotita, moscovita, opacos y silicatos de aluminio. Puede estar asociado a los blastos o agregados de silicatos de aluminio presentes en la roca o bien aparecer aislado y rodeado por biotita que es la que pone de manifiesto la foliación de la roca, respecto a la cual muestra un crecimiento claramente precinemático. Algunos de los ejemplares muestran dos episodios de crecimiento caracterizándose en este caso por presentar un núcleo idioblástico y una segunda etapa de crecimiento más xenoblástica y generalmente más rica en inclusiones que la parte central del cristal.

Estaurolita:

Es el silicato de aluminio más escaso pero el que desarrolla blastos de mayor tamaño los cuales engloban abundantes inclusiones de opacos orientados y muestran un crecimiento claramente precinemático respecto a la foliación generalizada en la roca. Suele estar asociada con distena y sillimanita que generalmente la rodean y parecen desarrollarse con posterioridad a ella.

Distena:

Se encuentra siempre como agregados de cristales asociados con abundantes cantidades de sillimanita la cual muestra un crecimiento posterior a ella y muy probablemente se desarrolla a sus expensas. Estos agregados de distena-sillimanita pueden estar asociados con granate, estaurolita, biotita y moscovita y al igual que el granate y la estaurolita muestran un crecimiento anterior al desarrollo de la foliación de la roca. Puede englobar numerosas inclusiones de opacos.

Sillimanita:

Es el último silicato de aluminio en desarrollarse, presentándose como agregados de cristales de hábito prismático que suelen crecer en los bordes de los blastos de estaurolita e íntimamente asociados a la distena a partir de la cual parece desarrollarse.

Plagioclasa:

Se encuentra como un constituyente de la matriz presentando un tamaño próximo al resto de los componentes minerales de la misma y un hábito xenomorfo a subidiomorfo. Están muy poco alteradas, suelen estar macladas y muestran zonados concéntricos difusos. Pueden englobar cuarzos goticulares y biotita.

Biotita:

Como en otras muestras estudiadas la biotita podría tener dos etapas de crecimiento ya que por una parte se encuentran biotitas deformadas de crecimiento precinemático respecto a la estructura general de la roca y que son las que ponen de manifiesto la orientación de la misma, y además parece haber otras biotitas más xenoblásticas que crecen aprovechando sombras de presión en los porfidoblastos desarrollados en la roca.

Moscovita:

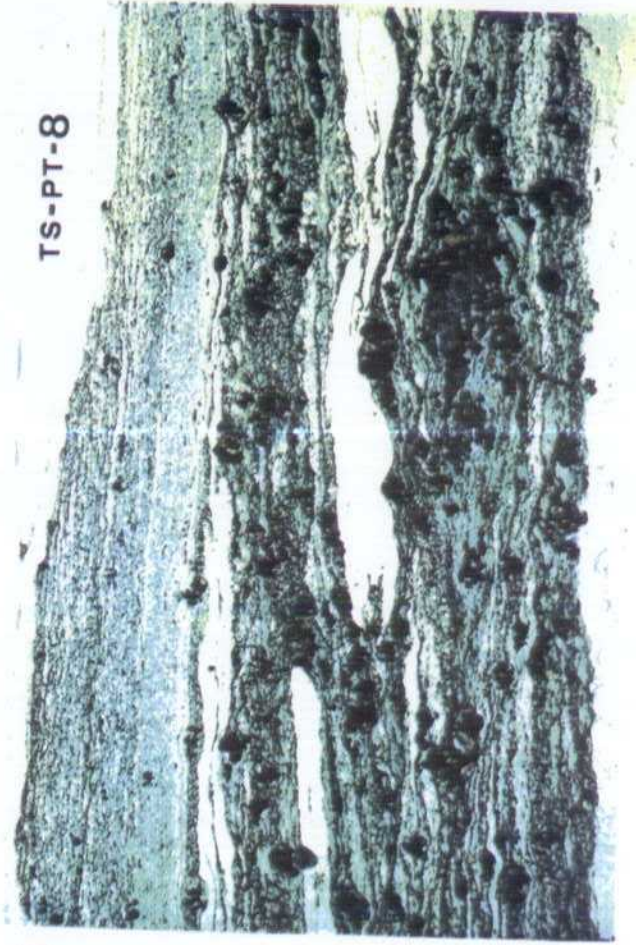
Existen dos tipos de moscovita, unas moscovitas dispuestas según la foliación de la roca con hábitos generalmente muy alargados, deformadas por las crenulaciones extensionales y asociadas con la biotita, y otras moscovitas que forman agregados alrededor de los silicatos de aluminio y granates, las cuales posiblemente se originen por transformación de los mismos.

CLASIFICACION: Esquisto feldespático rico en granates y silicatos de aluminio.

LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-PT-8

- 1- Aspecto general de la lámina en la que se observa un nivel rico en blastos de granate y silicatos de aluminio de crecimiento precinemático respecto a la foliación generalizada en la roca la cual aparece marcada por la disposición orientada de filosilicatos y niveles o lechos cuarzosos (o cuarzo plagioclásicos). La foliación está afectada posteriormente por una crenulación de tipo extensional .En la parte superior se distingue un nivel exento de silicatos de aluminio en el que sólo destacan algunos blastos de granate de menor tamaño que en el otro sector de la lámina.
- 2- Agregado de distena y sillimanita precinemático respecto a la foliación generalizada en la roca y afectado por una crenulación de tipo extensional cuyos planos están marcados por moscovitas y biotitas dispuestas según esa dirección. (L.N.,x10, 3,2x/0,06).
- 3- Estauroлита , distena y agregados de sillimanita posiblemente desarrollados a partir de las anteriores, de crecimiento precinemático en relación con la foliación marcada por la disposición de biotita, moscovita y lechos cuarzosos. (L.N., x10, 3,2x/0.06).
- 4- Blastos de granate precinemáticos respecto a la foliación generalizada en la roca evidenciada por la orientación de moscovitas, biotitas y niveles cuarzosos. En la parte inferior de la fotografía se observa una crenulación de tipo extensional afectando a la foliación que definen las moscovitas. (L.N., x10, 3,2x/0,06).
- 5- Detalle del agregado de la fotografía 2 en el que se observa distena, sillimanita crecida posiblemente a expensas de la distena, biotita y moscovita. (N.C., x10, 3,2x/0,06).

1

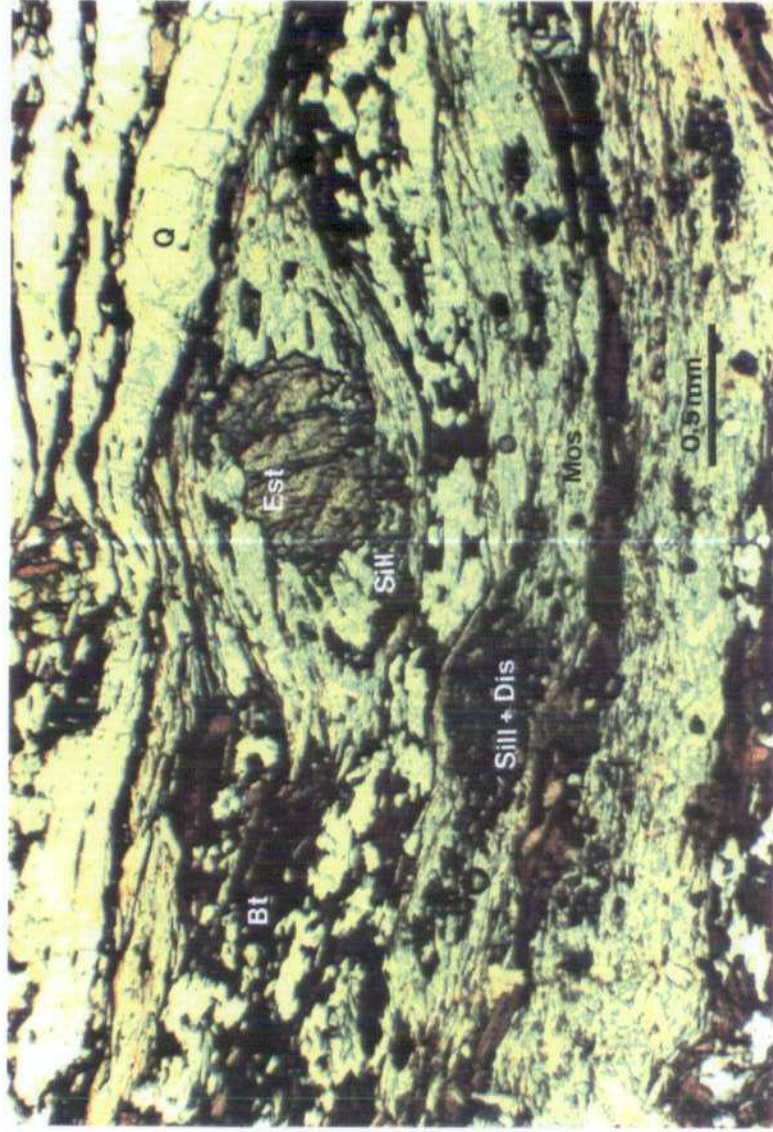


TS-PT-8

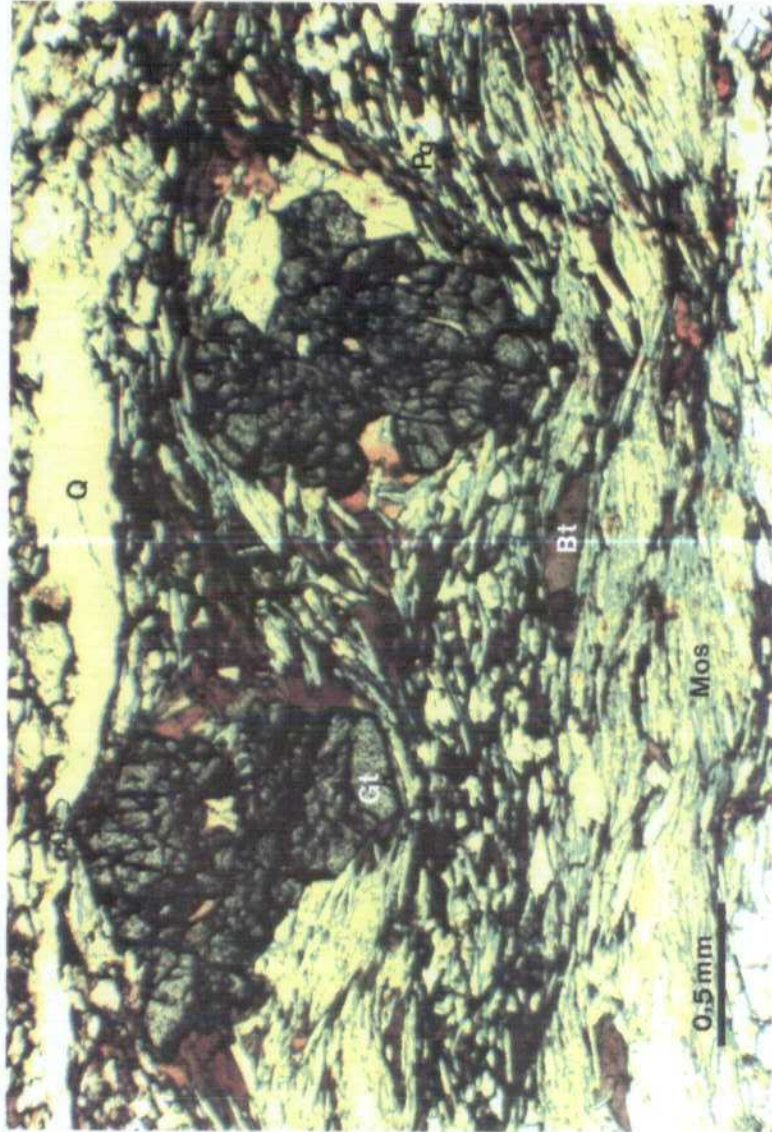
2



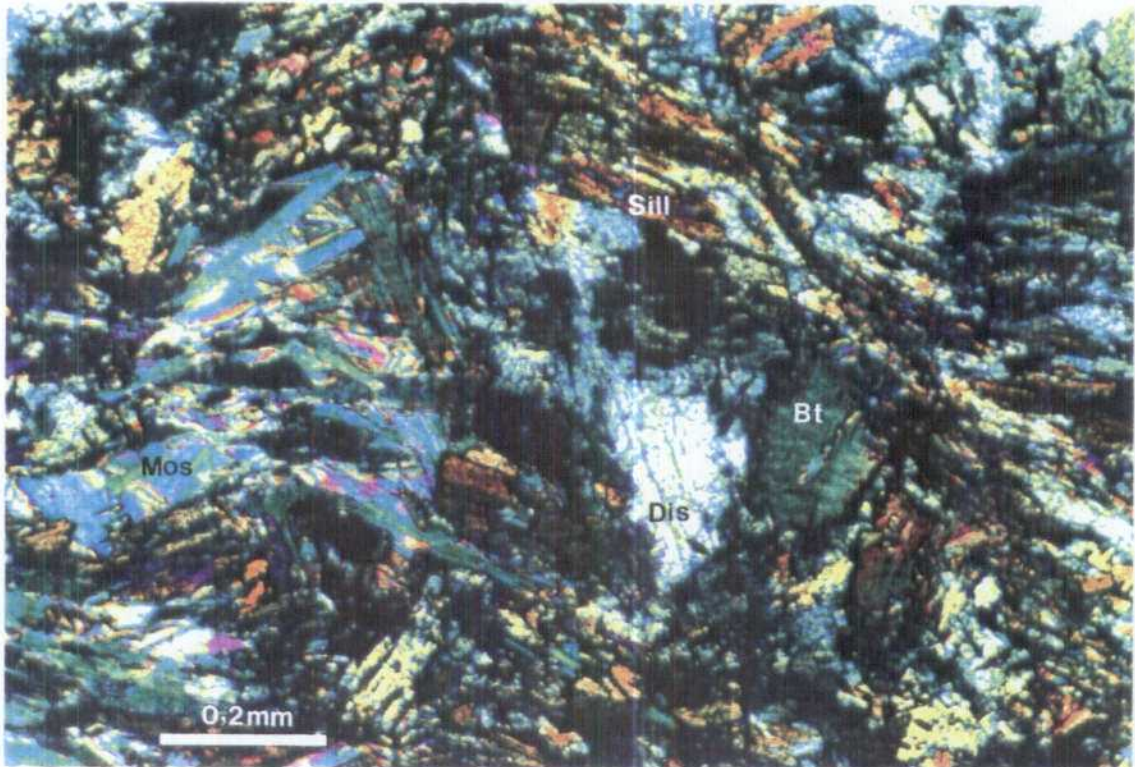
3



4



5



MUESTRA TS-PT-9

MICROESTRUCTURA:

Presenta una anisotropía planar neta con una disposición anastomosada de los planos de esquistosidad asimilable a procesos de deformación rotacional por cizalla.

TEXTURA:

La práctica destrucción de la muestra durante el proceso de elaboración de la lámina delgada hace que la calificación textural sea parcial, destacando en cualquier caso un carácter netamente porfidoblástico.

MINERALOGIA:

Cuarzo, moscovita, biotita, granate, estaurolita, sillimanita, distena.

Accesorios: opacos, circón, rutilo.

Secundarios: clorita, sericita, moscovita.

Granate:

Es muy frecuente como blastos milimétricos de hábito desde subidioblástico a xenoblástico desarrollados con anterioridad a la foliación generalizada en la roca. Al igual que ocurre para muchos de los componentes minerales está afectado por una intensa alteración, encontrándose totalmente transformado a una sustancia isótropa de color marrón que enmascara todo el cristal, a agregados cloríticos o bien a masas de sericita-moscovita, pudiendo llegar a su total desaparición.

Estaurolita:

Es quizás el silicato de aluminio menos afectado por la alteración generalizada en la roca. Se encuentra como blastos de mayor tamaño que el resto de los silicatos de aluminio presentes en la muestra, con un carácter netamente precinemático respecto a la foliación y con un crecimiento anterior al de la distena y sillimanita, los cuales suelen encontrarse siempre como agregados dispuestos en sus bordes.

Distena-sillimanita:

La distena se presenta siempre como agregados de cristales de menor tamaño que los de estaurolita y posteriores a los mismos, según se desprende de las relaciones texturales que muestran cuando aparecen asociados. En otros casos se encuentra únicamente asociada a la sillimanita que

forma agregados de cristales de hábito prismático desarrollados con posterioridad a la distena y muy probablemente a expensas de ella. Como en el caso de la distena estos silicatos de aluminio se desarrollan con anterioridad a la foliación de la roca y muestran una intensa transformación a agregados de sericita-moscovita que se desarrollan en sus bordes a modo de coronas externas. En algunos casos la transformación llega a ser total observándose únicamente agregados de sericita-moscovita a modo de nódulos rodeados por las moscovitas y biotitas que definen la foliación de la roca.

Moscovita:

Según se desprende de lo descrito hasta ahora, existe una moscovita precinemática dispuesta en bandas micáceas junto con biotita, deformadas y que son las que ponen de manifiesto la orientación de la roca, y otras moscovitas que forman agregados rodeados por las anteriores, derivadas de la transformación de los porfidoblastos presentes en la roca, granate y silicatos de aluminio.

Biotita:

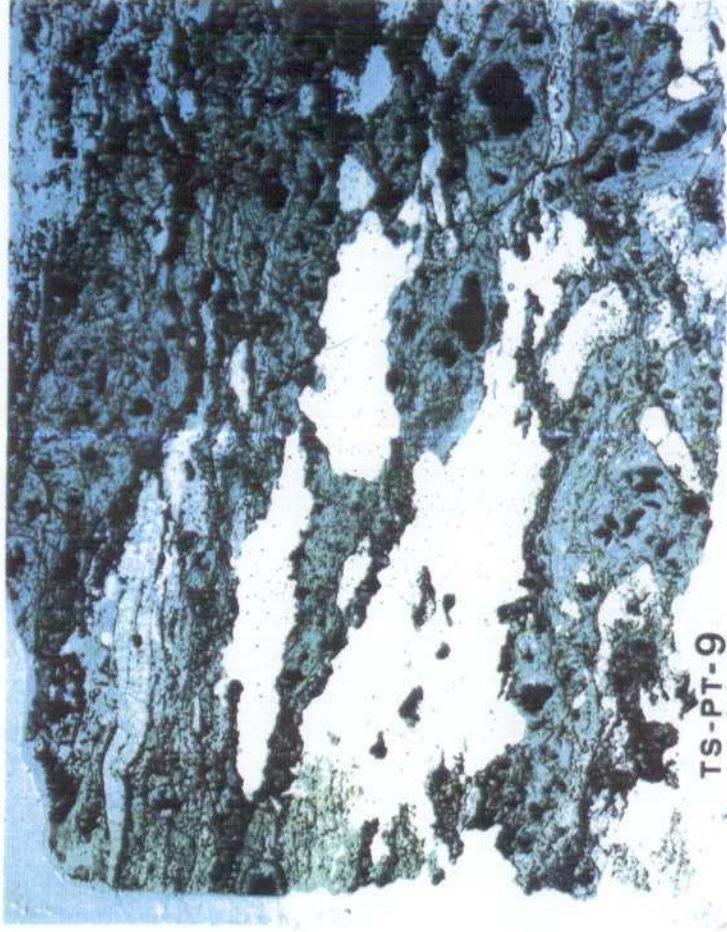
Aparece con un carácter precinemático, deformada y orientada según la foliación dominante en la roca, asociada con la moscovita, y como el resto de los componentes está afectada por la alteración hidrotermal observada en la roca, siendo frecuente que se encuentre cloritizada.

CLASIFICACION: Esquisto rico en granates y silicatos de aluminio.

LEYENDA DE FOTOGRAFÍAS - MUESTRA TS-PT-9

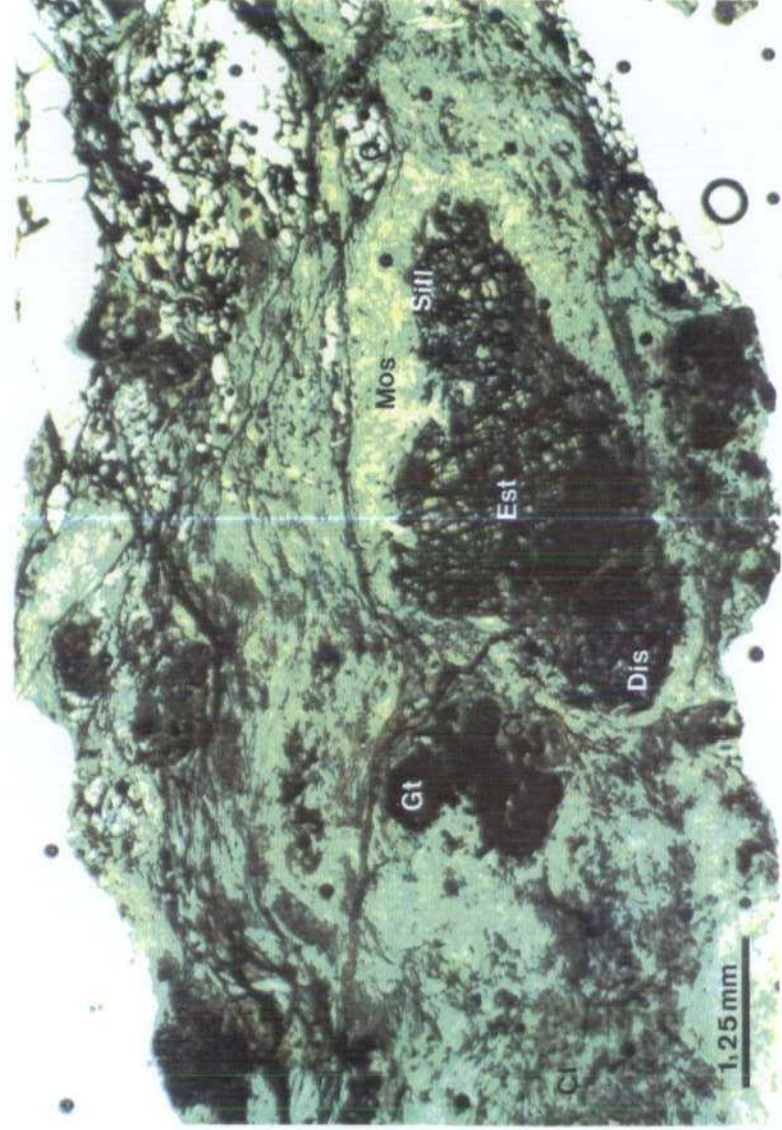
- 1- Aspecto general de la lámina en la que destacan blastos de granate y silicatos de aluminio precinemáticos en relación con la foliación que muestra la roca. La foliación presenta un aspecto anastomosado.
- 2- Blastos de granate, estaurolita, distena y sillimanita, de desarrollo precinemático respecto a la foliación que los rodea, la cual está definida por la disposición de filosilicatos y niveles ricos en cuarzo. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 3- Agregados de distena-sillimanita de crecimiento precinemático respecto a la foliación generalizada en la roca. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 4- Detalle de un cristal precinemático de estaurolita y distena bordeados por sillimanita cuyo desarrollo tiene lugar posiblemente a expensas de las anteriores. Se observa además un granate parcialmente alterado. (L.N., x10, 1x/0,06).

①



TS-PT-9

②

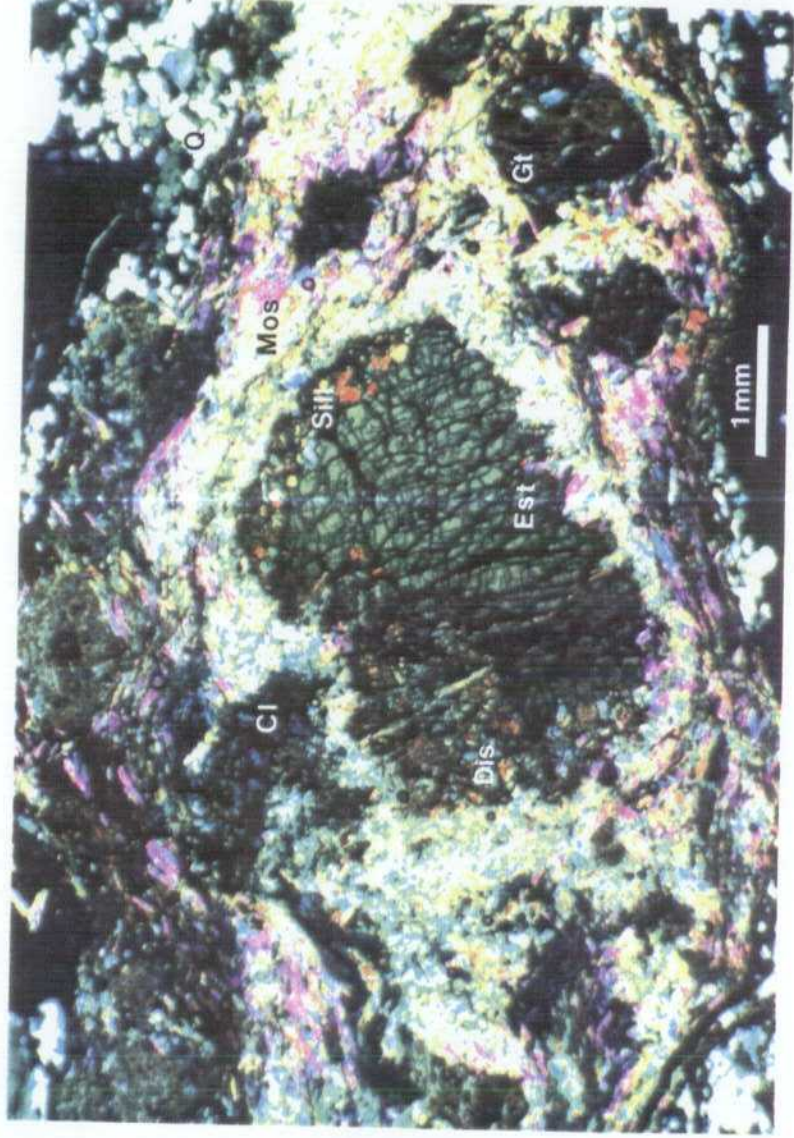


1.25 mm

3



4



MUESTRA TS-PT-11

MICROESTRUCTURA:

Muestra una clara foliación metamórfica clasificable como una "schistosity" que se amolda a porfidoblastos y porfidoclastos (λ) feldespáticos de tamaño centimétrico, muy superior al que presenta la matriz de la roca.

TEXTURA:

Desde un punto de vista general la textura se puede definir como porfidoblástica debido a la presencia de abundantes porfidoblastos de granate, aunque la matriz debe definirse como de textura grano-lepidoblástica.

MINERALOGIA:

Cuarzo, plagioclasa, biotita, moscovita, granate.

Accesorios: opacos, apatito, circón, rutilo.

Granate:

Aparece en un porcentaje apreciable con tendencia xenoblástica a subidioblástica y numerosas inclusiones de ilmenita (λ), rutilo, y en menor proporción biotita y cuarzo. En ocasiones se observan ejemplares que muestran dos episodios de crecimiento con límites muy netos entre ambos; en estos casos el blasto muestra un núcleo de tendencia idioblástica con una proporción notable inferior de inclusiones.

Su disposición textural indica un crecimiento claramente anterior al desarrollo de la foliación de la roca. En ocasiones sus sombras de presión aparecen rellenas de biotita, mineral con el que aparece íntimamente asociado.

Plagioclasa:

De todas las muestras estudiadas correspondientes a esta zona, ésta es la que presenta el mayor contenido en plagioclasas las cuales aparecen como constituyentes de la matriz de la roca con un tamaño similar al resto de las fases minerales, o bien como xenoclastos fracturados mecánicamente y en algunos casos con una textura mortar aparente. Son pobres en inclusiones y evidentemente anteriores a la deformación.

Biotita:

La población de filosilicatos está constituida mayoritariamente por biotita (26% modal) que es la que evidencia la orientación de la roca. Presentan un notable grado de orientación estadística y en general parecen anteriores a la deformación. Sin embargo, algunos ejemplares aislados parecen orientados al azar y sugieren la posibilidad de una posible recristalización sobre biotitas previas.

Moscovita:

Se presenta en un porcentaje notablemente inferior al de la biotita como finos y alargados listones dispuestos generalmente según la foliación dominante en la roca. En las bandas más ricas en micas se intercalan con las biotitas.

Accesorios:

Entre los accesorios merece un comentario especial la presencia y disposición textural del rutilo, que aparece bajo dos formas diferentes, como cristales xenomorfos muy oscuros incluidos principalmente en el granate y en menor proporción en biotita, y como agregados de cristales de hábito acicular situados sistemáticamente en los bordes entre los cristales de cuarzo y/o plagioclasa de la matriz, de tal modo que dibujan con bastante perfección el contorno, a veces completo, de los citados minerales.

CLASIFICACION: Esquisto feldespático rico en granates.

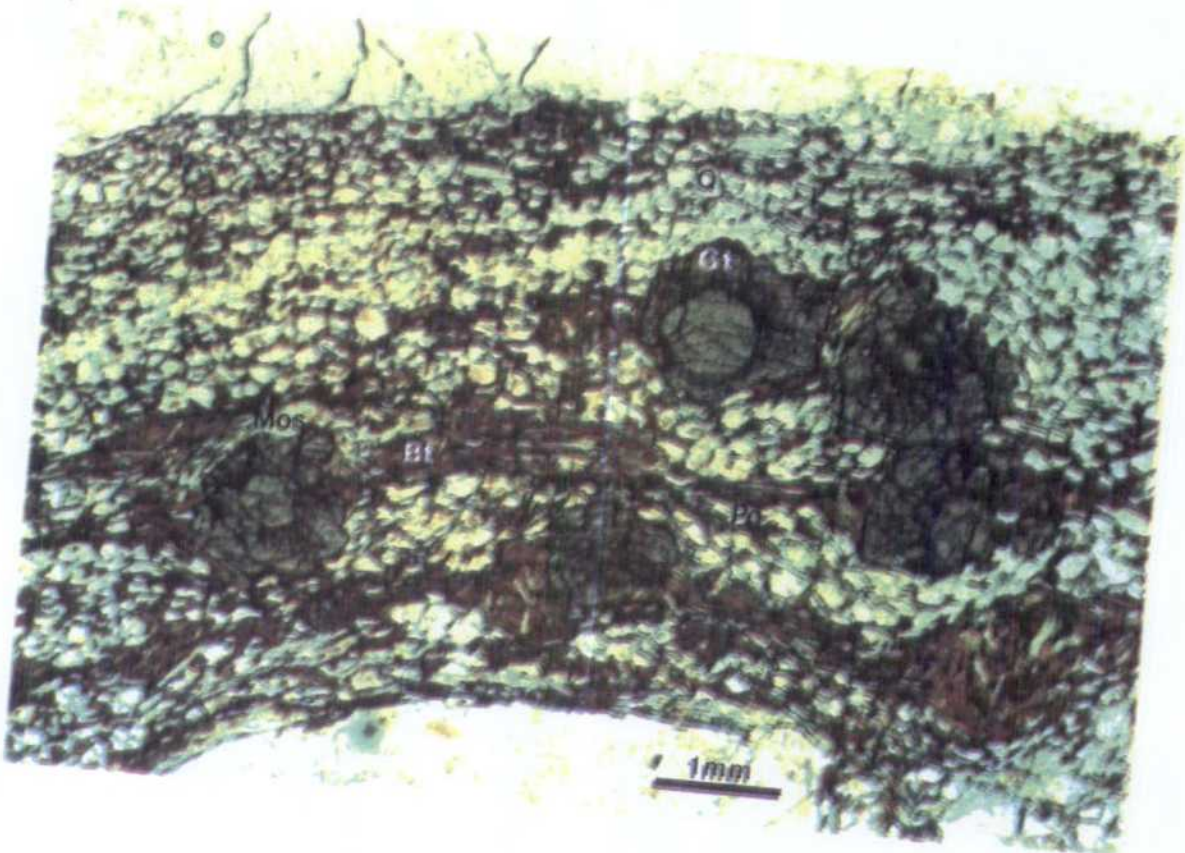
LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-PT-11

- 1- Aspecto general de la lámina en la que alternan niveles cuarzosos o cuarzo-feldespáticos con otros más ricos en filosilicatos. En estos últimos es frecuente el desarrollo de granates que muestran un crecimiento precinemático respecto a la foliación definida por la disposición orientada de los niveles de diferente naturaleza.
- 2- Nivel rico en blastos de granate, algunos de los cuales muestran dos periodos de crecimiento, rodeados por la foliación respecto a la que muestran un crecimiento precinemático. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 3- Otro nivel de la roca rica en blastos de granate, que pueden mostrar uno o dos periodos de crecimiento, anteriores al desarrollo de la foliación que aparece bien marcada por la disposición de biotitas y moscovitas (L.N., x10, 1x/1,6).
- 4- Detalle de la fotografía anterior en la que se observa un límite muy neto entre los dos episodios de crecimiento del cristal. (L.N., x10, 3,2x/0,06).
- 5- Otro detalle de un blasto de granate rodeado por la foliación que sólo muestra un periodo de crecimiento. (L.N., x10, 3,2x/0,06).

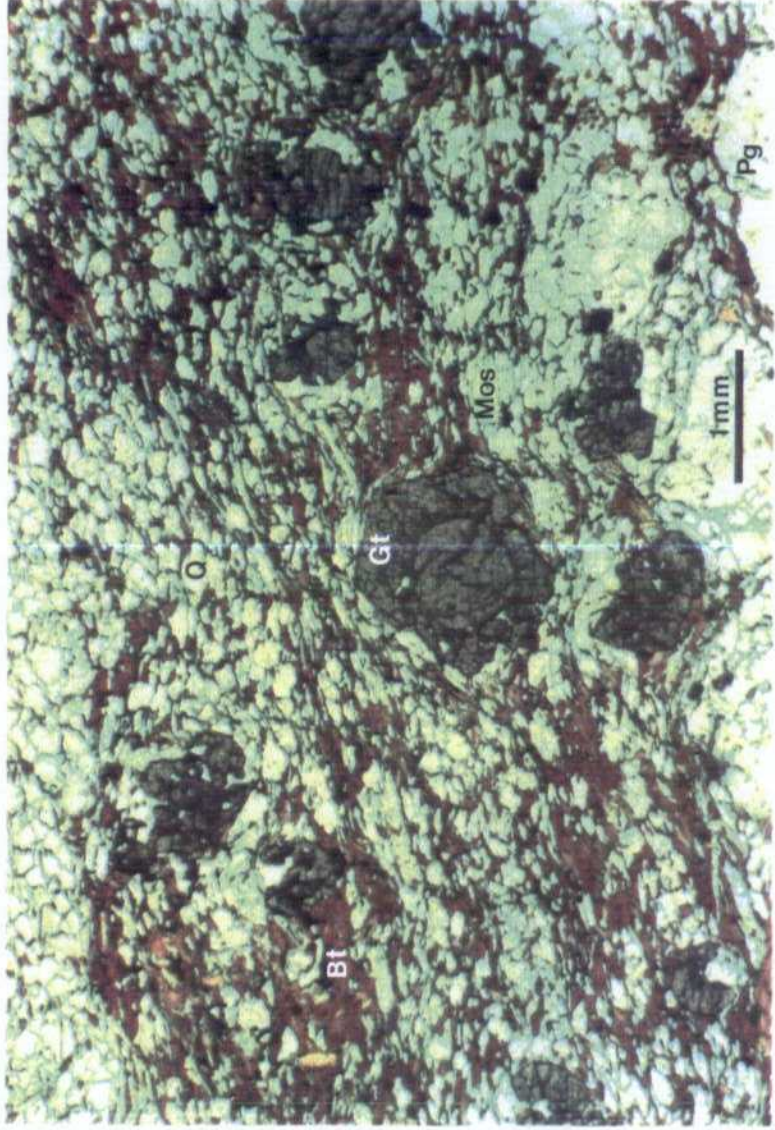
①



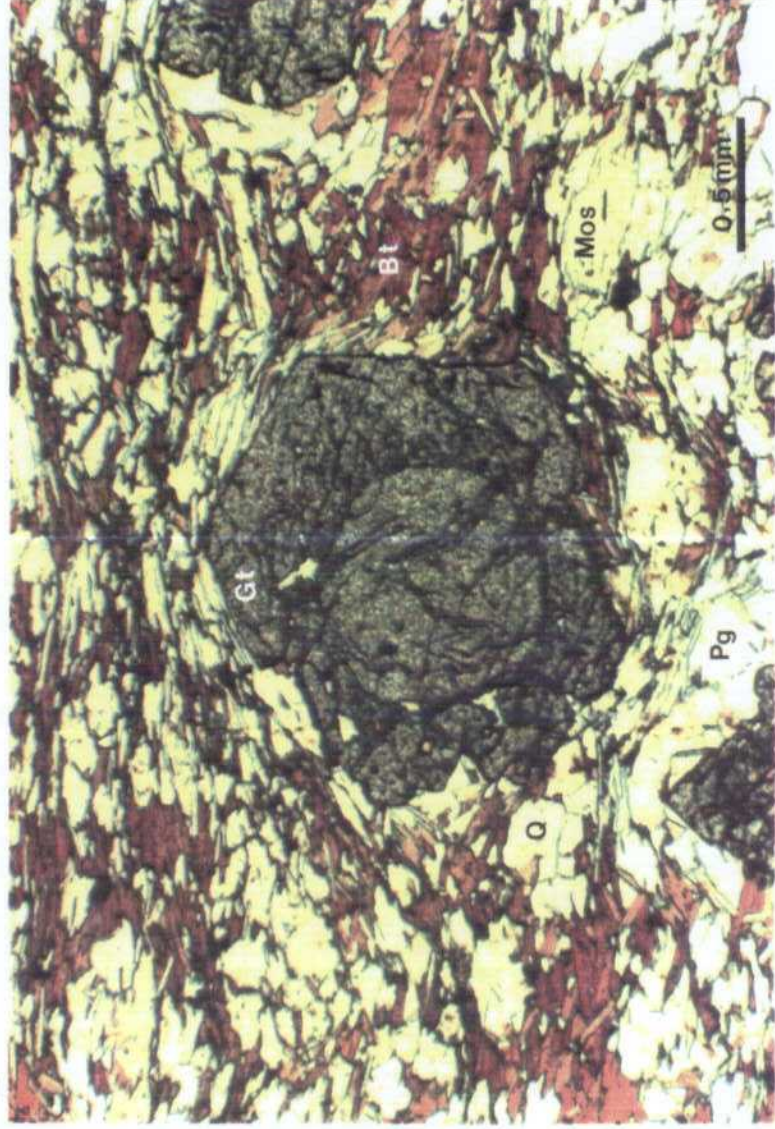
②



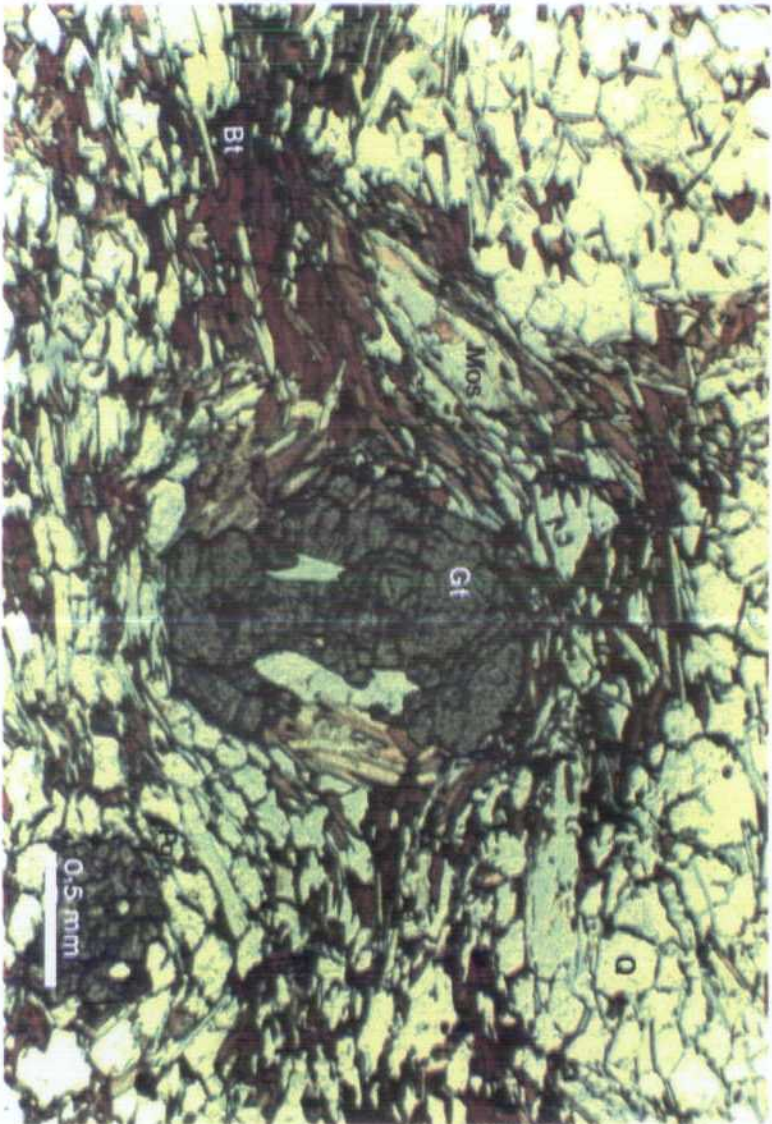
3



4



5



MUESTRA TS-MR-3

MICROESTRUCTURA:

Presenta una anisotropía planar irregularmente desarrollada, morfológicamente comparable a una "schistosity" sin que se pueda descartar la existencia de deformación rotacional.

TEXTURA:

Desde un punto de vista general porfidoblástica, salvo en la fracción rica en cuarzo y filosilicatos de textura grano-lepidoblástica.

MINERALOGIA:

Cuarzo, biotita, moscovita, andalucita, granate.

Accesorios: opacos, turmalina, circón.

Secundarios: sericita.

Andalucita:

Aparecen blastos y poiquiloblastos de andalucita de hábito subidiomorfo sin una orientación morfológica aparente. Pueden presentar numerosas inclusiones orientadas de cuarzo, opacos y biotita, aunque en mucha menor proporción que en el resto de las muestras (TS-MR-3 y TS-MR-4). Mientras las inclusiones de cuarzo y opacos señalan una foliación interna neta, las inclusiones de biotita aparecen en la mayoría de los casos dispuestas al azar. La clara discordancia de la foliación interna relictas en los blastos de andalucita (Si), que es diferente de unos blastos a otros, con respecto a la Se que bordea a los cristales, parece indicar que la mayor parte de las andalucitas presentes en la lámina son anteriores a la foliación dominante en la muestra. De todas formas existen algunos ejemplares (escasos) de menor tamaño que parecen crecer sobre las bandas moscovíticas y por tanto serían posteriores a la foliación general.

Ambos tipos de andalucitas parecen sustituidas por masas de sericita desarrolladas preferentemente en sus bordes y en zonas de debilidad intracristalinas.

Resulta difícil establecer una correlación entre estas andalucitas y las desarrolladas en las muestras TS-MR-3 y TS-MR-4, aunque como se describe en las observaciones correspondientes, se maneja el supuesto de la existencia en ellas de dos generaciones de andalucitas crecidas o desarrolladas en etapas diferentes.

Granate:

Espacialmente asociado a moscovitas, presenta formas idiomorfas o subidiomorfas y está fuertemente alterado a minerales opacos con disposición coronítica. Su desarrollo parece ser anterior a la foliación dominante en la roca.

Biotita:

Puede haber dos generaciones de biotita, una de ellas claramente precinemática, y otras de hábito más xenoblástico, aunque en algunos casos haya podido haber una recristalización posterior sobre biotitas preexistentes.

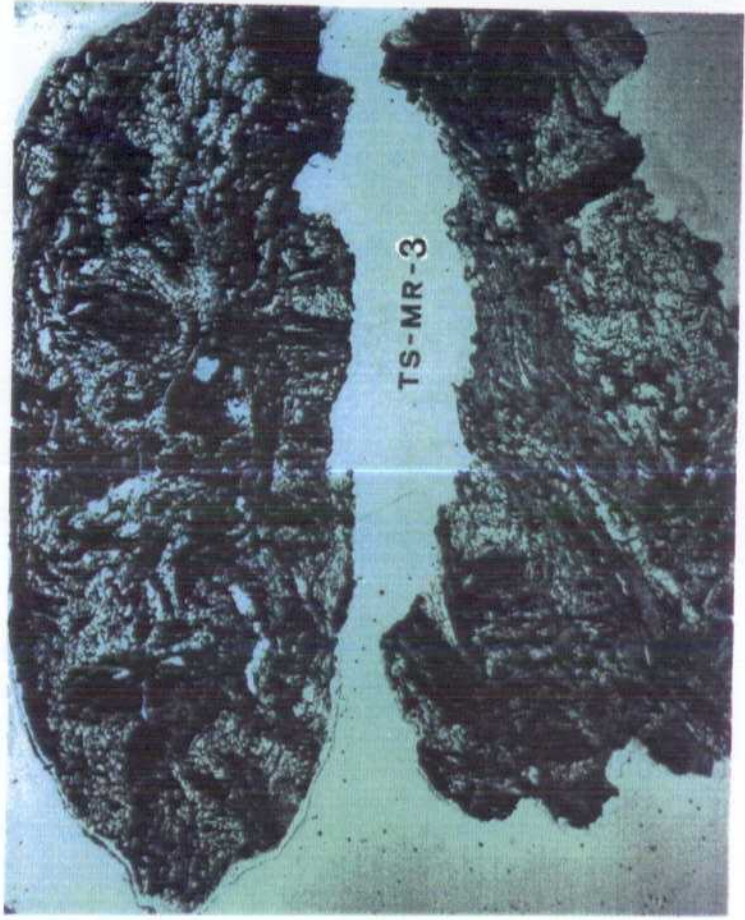
Moscovita:

Existen asimismo dos generaciones de moscovita, una correspondiente a las moscovitas dispuestas según la foliación de la roca, las cuales parecen haber sufrido una recristalización posterior y una segunda generación que aparece como blastos de diferente tamaño asociados muy frecuentemente con la andalucita sobre la que parecen formarse con posterioridad al desarrollo de la misma. Las primeras están deformadas mostrando fenómenos de poligonización que conducen a la destrucción de posibles arcos poligonales preexistentes.

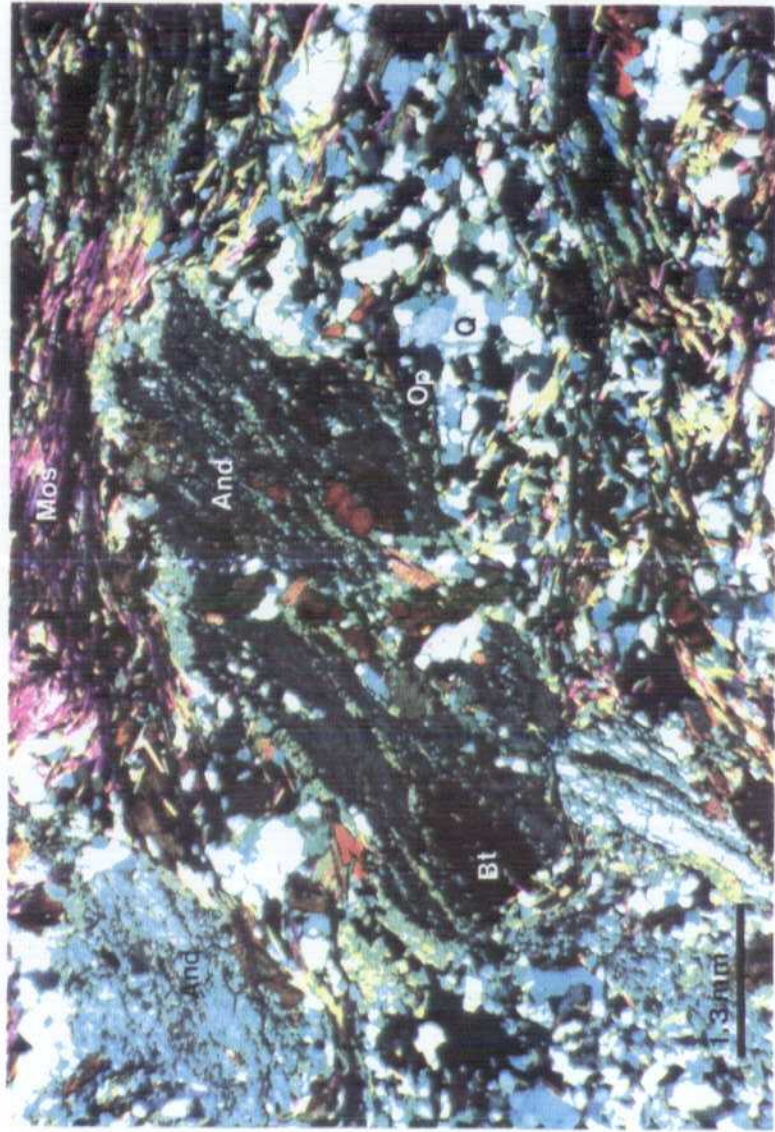
CLASIFICACION: Micaesquisto con andalucita.

LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-MR-3

- 1- Aspecto general de la lámina en la que destacan grandes blastos de andalucita precinemáticos respecto a la foliación de la roca con la que guardan diferentes disposiciones, desde oblicuas hasta ortogonales.
- 2- Detalle de un poiquiloblasto de andalucita oblicuo a la foliación de la roca marcada por la disposición de las moscovitas. El blasto de andalucita engloba blastos de biotita y una foliación relictas discordante con la foliación externa al cristal. (N.C., x10, 3,2x/0,06).
- 3- Blastos de andalucita y de biotita de desarrollo previo a la foliación puesta de manifiesto en la fotografía por bandas o niveles moscovíticos. (N.C., x10, 3,2x/0,06).
- 4- Detalle de la foliación de la roca en un nivel moscovítico en el que se observan procesos de poligonización de algunos cristales de moscovita. (N.C., x10, 3,2x/0,06).



①

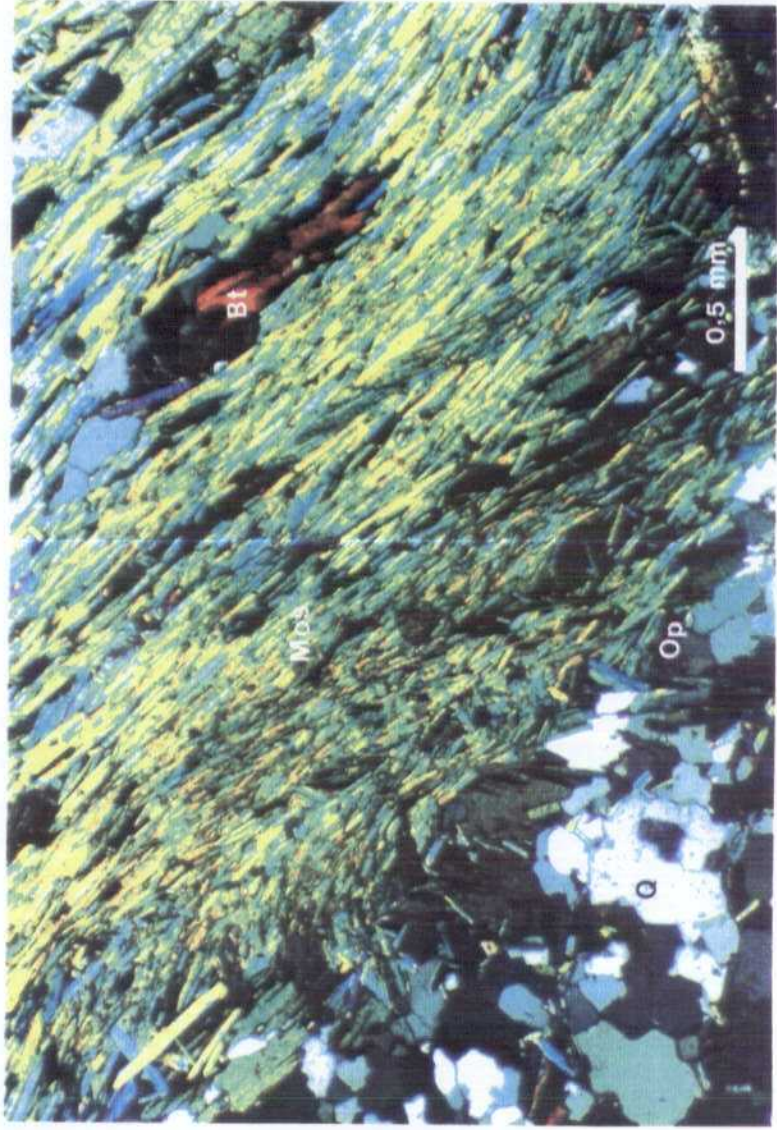


②

3



4



MUESTRA TS-MR-4

MICROESTRUCTURA:

Muestra una marcada foliación metamórfica (schistosity) - notable fábrica planar - con evidencias estructurales susceptibles de ser interpretadas como generada durante una deformación rotacional por cizalla.

TEXTURA:

En general la muestra puede definirse como porfidoblástica debido a la presencia de blastos centimétricos de andalucita y milimétricos de biotita y granate. En la fracción más esquistosa de la muestra la textura es claramente grano-lepidoblástica.

MINERALOGIA:

Cuarzo, moscovita, biotita, granate, andalucita.

Accesorios: opacos, estaurolita, circón, turmalina.

Andalucita:

Se presenta como poiquiloblastos de tamaño desde milimétrico a centimétrico que engloban el resto de las fases minerales principales presentes en la roca, cuarzo, biotita, granate, opacos y pequeñas inclusiones de estaurolita.

Desde el punto de vista estructural la posición de la andalucita parece ser posterior a las deformaciones más conspicuas de la roca. Algunos cristales engloban una crenulación relictiva y/o una foliación milonítica que generalmente es concordante con la estructura o foliación externa al cristal. No obstante algunos ejemplares, apenas poiquiloblásticos, ofrecen unas relaciones más dudosas que en algunos casos podrían ser descritas incluso como anteriores a la deformación. Es posible entonces que existan dos generaciones de andalucita separadas en el tiempo.

Granate:

Es mucho menos abundante que andalucita o biotita de tal modo que sólo se han observado unos cuatro o cinco ejemplares, generalmente de hábito subidiomorfo. Son relativamente pobres en inclusiones y aparecen casi siempre asociados a biotita y parcial o totalmente incluidos en andalucita.

Sus relaciones con respecto a la estructura dominante en la roca no son fáciles de discernir dada su descrita relación con la andalucita. No obstante parece ser anterior a la estructura más marcada en la

roca y ser sustituido parcialmente por una biotita (biotita 2) que en algunos casos crece aprovechando las sombras de presión desarrolladas por el propio granate.

Biotita:

La observación de la lámina sugiere la existencia de dos generaciones de biotita (biotita 1 y biotita 2) cuyo crecimiento parece separado en el tiempo. Por una parte existen unas biotitas que en muchos casos engloban inclusiones orientadas y anteriores a la estructura dominante en la roca, sobre todo en la fracción más esquistosa de la misma. Una segunda generación de biotita parece haberse desarrollado quizás con posterioridad a la citada deformación creciendo en las sombras de presión de biotita 1 y granate. Desde un punto de vista morfológico esta 2ª generación de biotita parece tener un hábito más xenoblástico que las biotitas 1 y es frecuente que englobe moscovita.

Moscovita:

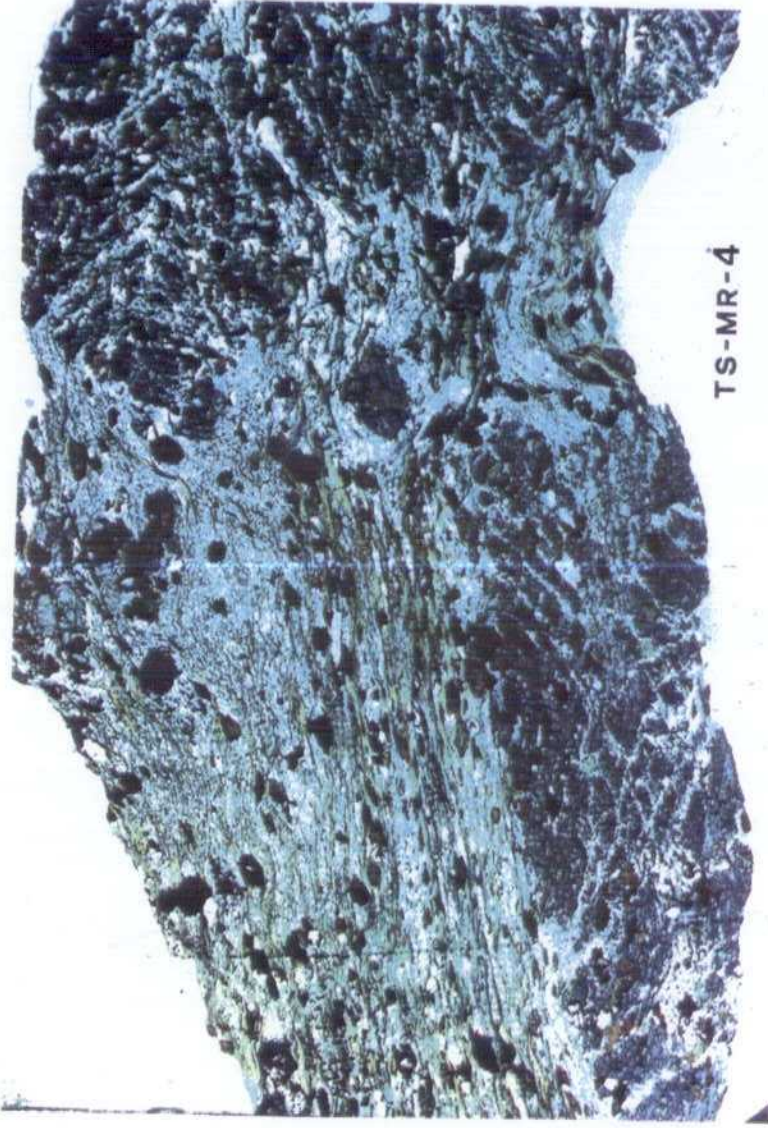
Al igual que en el caso de la biotita para este mineral es necesario distinguir moscovitas alotriomórficas deformadas, que junto con el cuarzo señalan la estructura esquistosa de la lámina, de una segunda generación de moscovitas de tamaño variable, subidiomorfos, a veces con hábito poiquiloblástico que crecen aprovechando, en ocasiones, sombras de presión y en otros casos, relacionadas con andalucita, cuyo hábito y disposición parece indicar relaciones de posterioridad respecto a la citada andalucita.

CLASIFICACION: Micaesquisto con andalucita y granate.

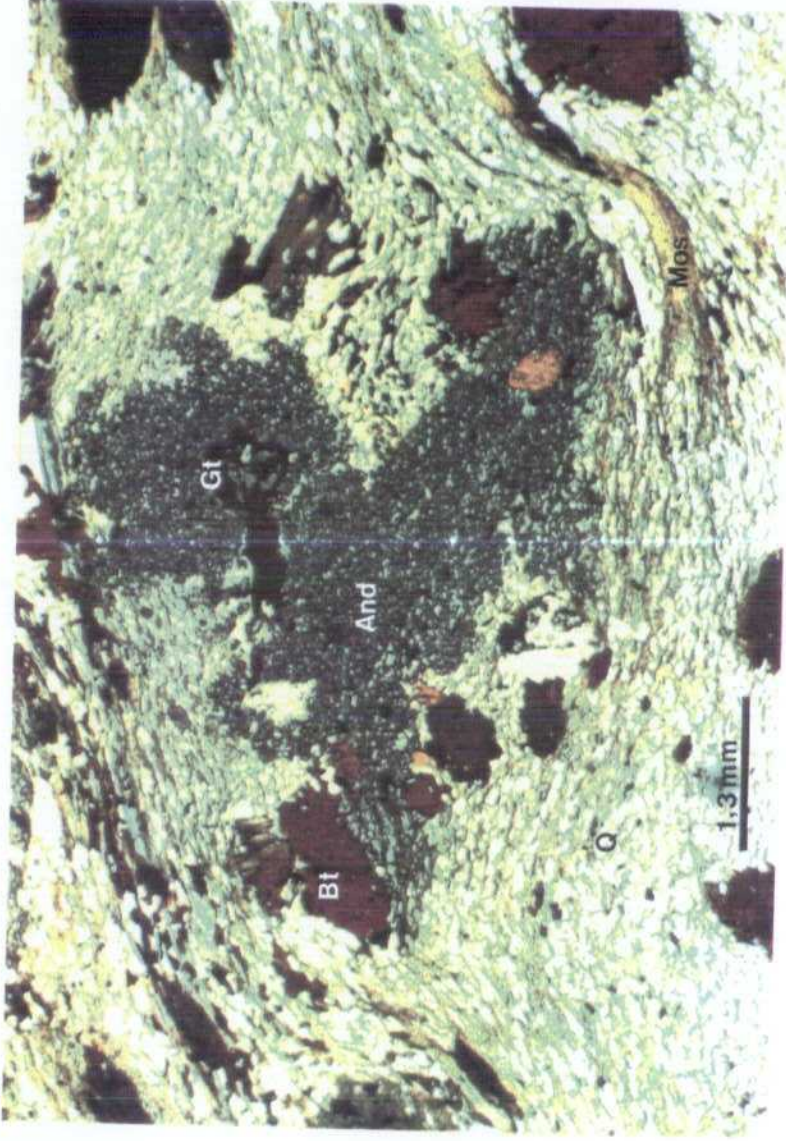
LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-MR-4

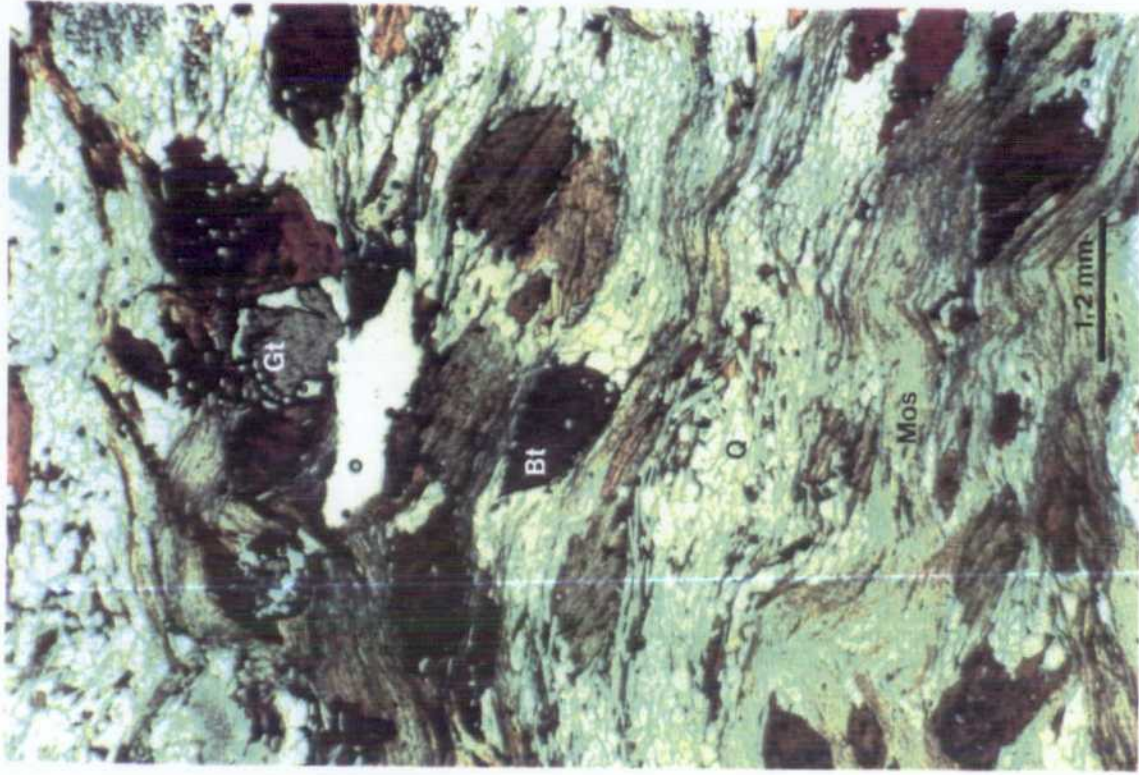
- 1- Aspecto general de la lámina en la que existe un desarrollo de poiquiloblastos centimétricos de andalucita que sellan diferentes estructuras de la roca previas a su crecimiento. Se observan además pequeños blastos de biotita y de andalucita que se encuentran rodeados por la foliación más generalizada en la roca respecto a la cual muestran un desarrollo precinemático y que localmente corresponde a una foliación milonítica.
- 2- Poiquiloblasto de andalucita y blastos de biotita rodeados por la foliación. El poiquiloblasto de andalucita engloba otros de menor tamaño de biotita y granate. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 3- Blastos de biotita y granate precinemáticos respecto a la foliación que definen moscovitas y biotitas la cual muestra sobreimpuesta una crenulación. (L.N.,x10, 1x/1,6).
- 4- Foliación milonítica y blastos de biotita previos al desarrollo de la misma. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 5- Pliegue relicto o sellado por un poiquiloblasto centimétrico de andalucita. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 6- Posible crenulación relicta en un poiquiloblasto de andalucita. Se observa además un blasto de granate y biotita englobados en el mismo. (N.C., x10, 3,2x/0,06).

1

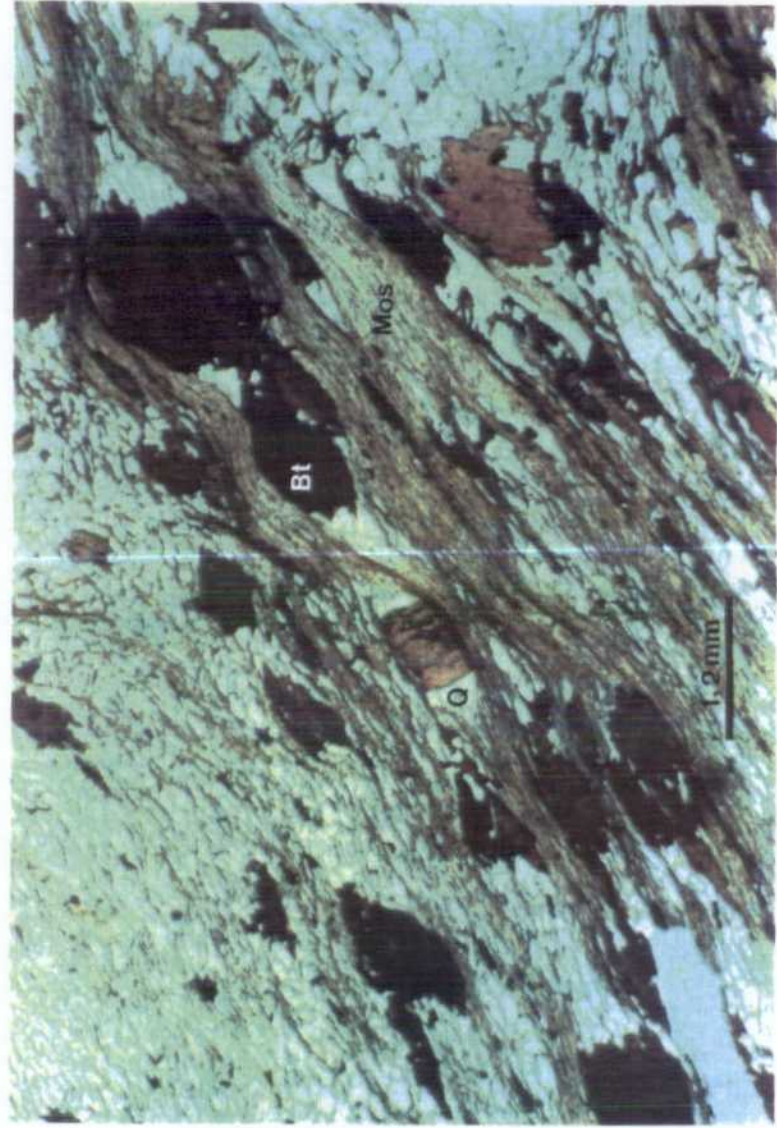


2



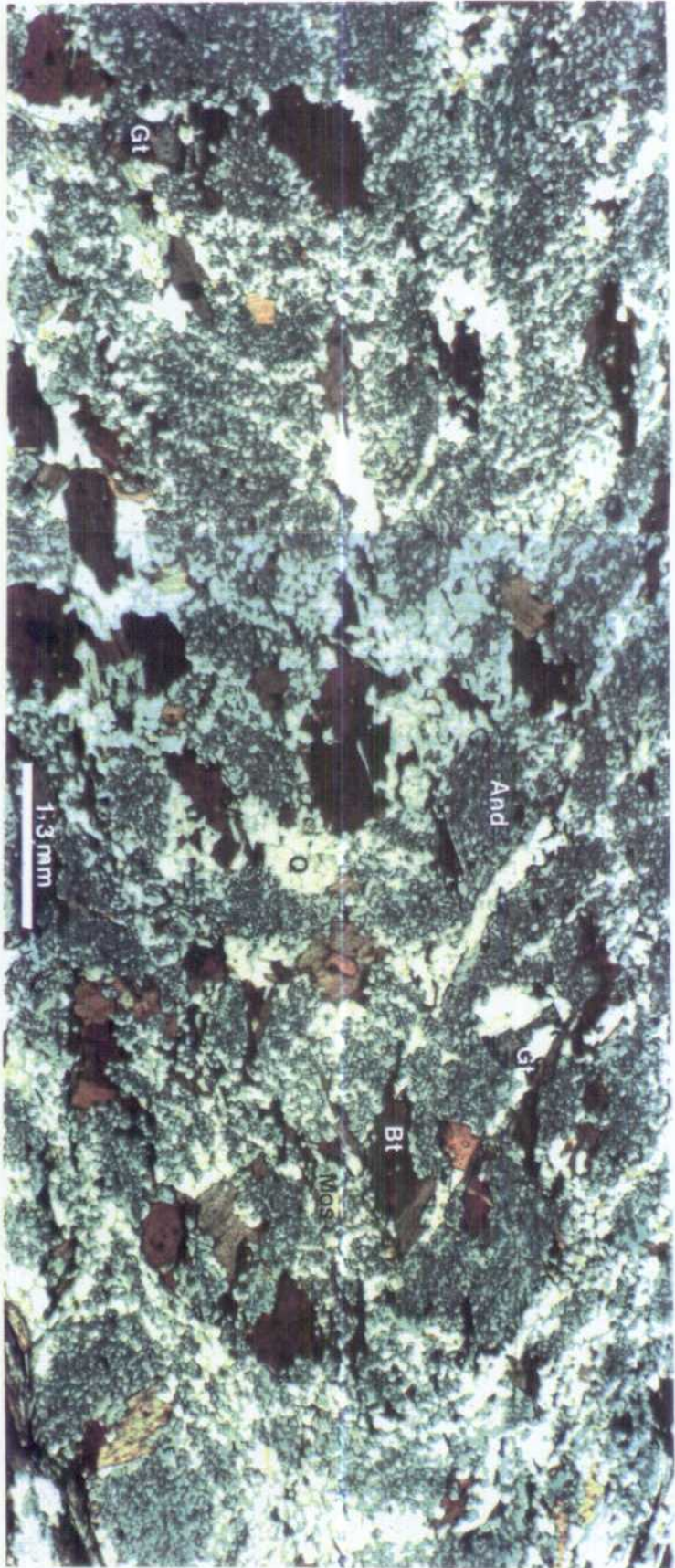


3



4

5





6

MUESTRA TS-MR-5

MICROESTRUCTURA:

El aspecto general de la lámina parece indicar la presencia de una patente foliación metamórfica fuertemente distorsionada probablemente a consecuencia de una deformación por cizalla dúctil.

TEXTURA:

Dominantemente poiquiloblástica salvo las zonas ricas en cuarzo y filosilicatos de textura grano-lepidoblástica.

MINERALOGIA:

Cuarzo, moscovita, biotita, andalucita, estaurolita.

Accesorios: opacos, circón, turmalina.

Andalucita:

La proporción de andalucita es superior al resto de las muestras estudiadas, aunque responde a una descripción tipo similar a la muestra TS-MR-3. Se presenta en grandes poiquiloblastos de tamaño centimétrico con una altísima proporción de inclusiones, sobre todo de cuarzo y biotita además de estaurolita.

En cuanto a sus relaciones con la estructura dominante en la roca, parecen ser posteriores, así en algunas zonas la andalucita fosiliza ya no una foliación esquistosa clara sino que por zonas engloba una crenulación bien desarrollada y en otros micropliegues asimétricos de morfologías asimilables a procesos de deformación por cizalla dúctil. Tal y como ocurría en la muestra TS-MR-3 aparecen algunas andalucitas o algunas porciones de andalucita con menor porcentaje de inclusiones, englobadas en los grandes poiquiloblastos y que pueden ser interpretadas como andalucitas anteriores.

Estaurolita:

A diferencia de la muestra anterior en ésta aparecen poiquiloblastos alotriomorfos o subidiomorfos de estaurolita asociada a moscovita, biotita y parcialmente englobada en andalucita.

Sus relaciones con respecto a la estructura dominante en la roca parecen más confusas que las de la andalucita, no obstante y basándose en la discordancia clara entre la foliación que engloban (Si) y la foliación externa (Se) podría considerarse como sincinemática precoz. En cualquier caso su momento de crecimiento es claramente anterior al de la andalucita.

Biotita:

Como en la muestra anterior es posible distinguir dos generaciones de biotita, una de ellas claramente precinemática respecto a la estructura generalizada en la roca y una segunda generación que como en el caso anterior es más xenoblástica, engloba cristales de moscovita y puede crecer a partir de la biotita 1 o en sus sombras de presión.

Moscovita:

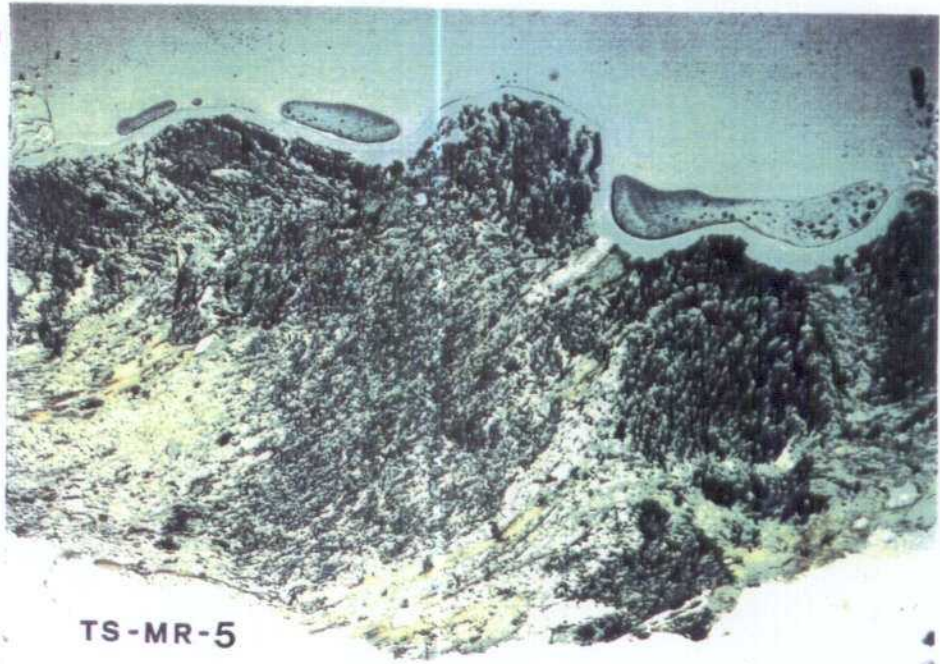
Responde asimismo a las dos tipologías descritas en la muestra anterior. Existe una generación de moscovitas deformadas que junto con el cuarzo son las que ponen de manifiesto la esquistosidad de la roca y otras moscovitas de hábito subidiomorfo y en ocasiones poiquiloblástico que aparecen muy frecuentemente relacionadas con la andalucita, sobre la que parecen crecer con posterioridad a su desarrollo.

CLASIFICACION: Micaesquisto andalucítico.

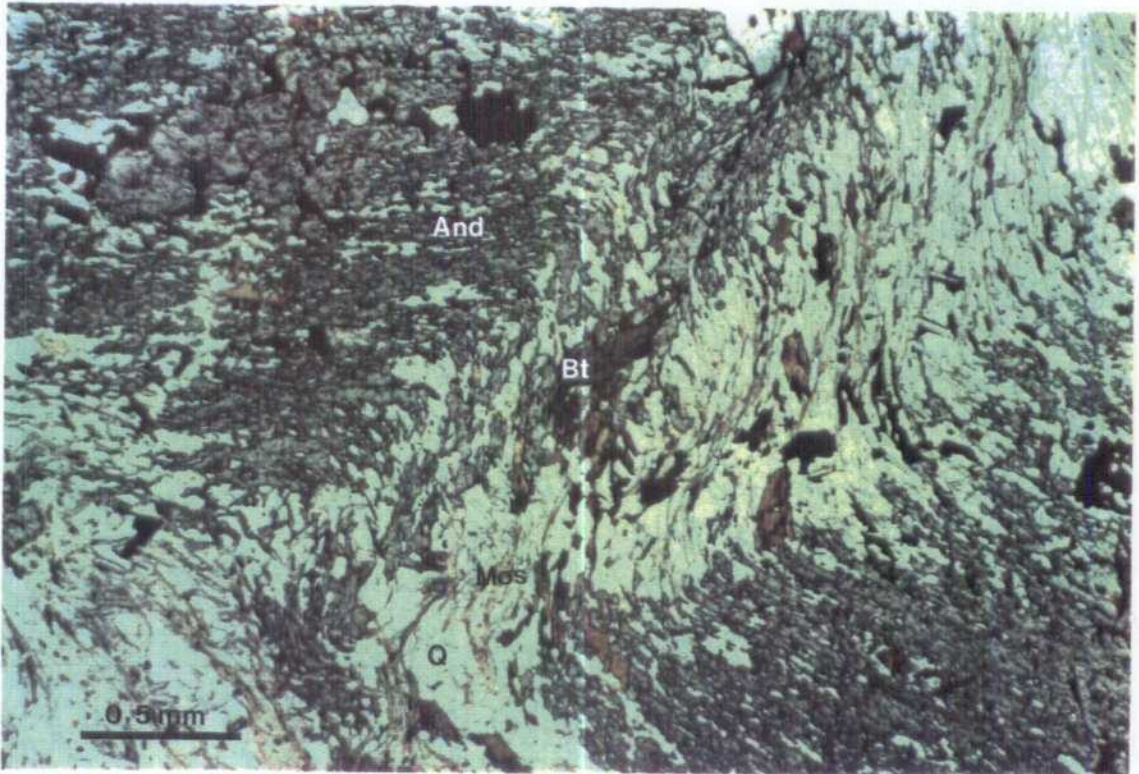
LEYENDA DE FOTOGRAFIAS - MUESTRA TS-MR-5

- 1- Aspecto general de la lámina en la que se observan grandes poiquiloblastos de andalucita sellando las estructuras (pliegues y crenulaciones) desarrolladas en la roca con anterioridad a su crecimiento.
- 2- Crenulación sellada por un gran poiquiloblasto de andalucita. (L.N., x10, 1x/1,6).
- 3- Otro detalle de un pliegue asimétrico sellado por un poiquiloblasto de andalucita. (L.N., x10, 3,2x/0,06).
- 4- Poiquiloblastos de andalucita y estaurolita observándose en la andalucita una foliación interna (Si) concordante con la foliación de crenulación externa a ellos (Se). (N.C., x10, 3,2x/0,06).
- 5- Poiquiloblasto de estaurolita mostrando una foliación interna (Si), cuyo crecimiento es probablemente sincinemático precoz respecto a la foliación de crenulación externa al cristal (Se). (L.N., x10, 3,2x/0,06).

①



②



3



4





5

COMPOSICIONES MODALES.

MUESTRA TS-PT-2

Sill	_____	72,48%
Dist	_____	25,46%
Mosc	_____	1,75%
Op	_____	0,29%
TOTAL	_____	99,98%

MUESTRA TS-PT-5¹

Q	_____	31,76%
Mosc	_____	28,43%
Biot	_____	13,89%
Sill	_____	7,74%
Clr	_____	7,01%
Pg	_____	6,87%
Gt	_____	2,46%
Dist	_____	0,65%
Acc	_____	1,15%
TOTAL	_____	99,96%

MUESTRA TS-PT-8²

Q	_____	23,32%
Biot	_____	29,92%
Mosc	_____	22,78%
Pg	_____	8,33%
Gt	_____	7,14%
Sill	_____	3,87%
Dist	_____	3,45%
Est	_____	0,3%
Acc	_____	0,89%
TOTAL	_____	100%

(Granate +)

MUESTRA TS-PT-9

Q	_____	17%
Mosc	_____	47,27%
Cl	_____	13,65%
Biot	_____	1,8%
Sill	_____	1%
Dist	_____	0,4%
Est	_____	0,4%
Pg	_____	0,2%
Acc+Serc	_____	18,2%
TOTAL	_____	99,92%

¹ El cómputo modal de la muestra TS-PT-5 corresponde únicamente al sector de la lámina con blastos de granate y silicatos de aluminio; no se ha contabilizado el sector de la lámina exento de silicatos de Al (zona inferior de la fotografía).

² El cómputo modal de la muestra TS-PT-8 cubre prácticamente toda la lámina a excepción del nivel exento de silicatos de Al (zona superior de la fotografía).

MUESTRA TS-PT-11

Q	_____	41,9%
Biot	_____	26,65%
Pg	_____	12,4%
Mosc	_____	10,55%
Gt	_____	5,05%
Acc	_____	3,45%
<u>TOTAL</u>	_____	100%

MUESTRA TS-MR-3

Q	_____	25,57%
And	_____	17,44%
Mosc+Serc	_____	31,55%
Biot	_____	17,19%
Gt	_____	0,13%
Acc	_____	8,12%
<u>TOTAL</u>	_____	100%

MUESTRA TS-MR-4

Q	_____	28,04%
And	_____	20,24%
Mosc+Serc	_____	29,98%
Biot	_____	19,44%
Gt	_____	0,2%
Acc	_____	1,9%
<u>TOTAL</u>	_____	99,80%

MUESTRA TS-MR-5

Q	_____	30,28%
And	_____	37,63%
Mosc+Serc	_____	15,78%
Biot	_____	11,51%
Est	_____	1,02%
Acc	_____	3,75%
<u>TOTAL</u>	_____	99,97%



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X DE UNA
MUESTRA, PRESENTADA POR ROCAS INDUSTRIALES.

Referencia: TS-PT-2

Mineral principal: DISTENA

" Accesorio: MICA (MOSCOVITA)

Madrid, 29 de Mayo de 1989



ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X DE TRES MUESTRAS
ENVIADAS POR LA OFICINA DEL ITGE EN GALICIA (D. JOSE
M^a TOYOS).

Referencia: TS-PT-2,6,12

Resultados:

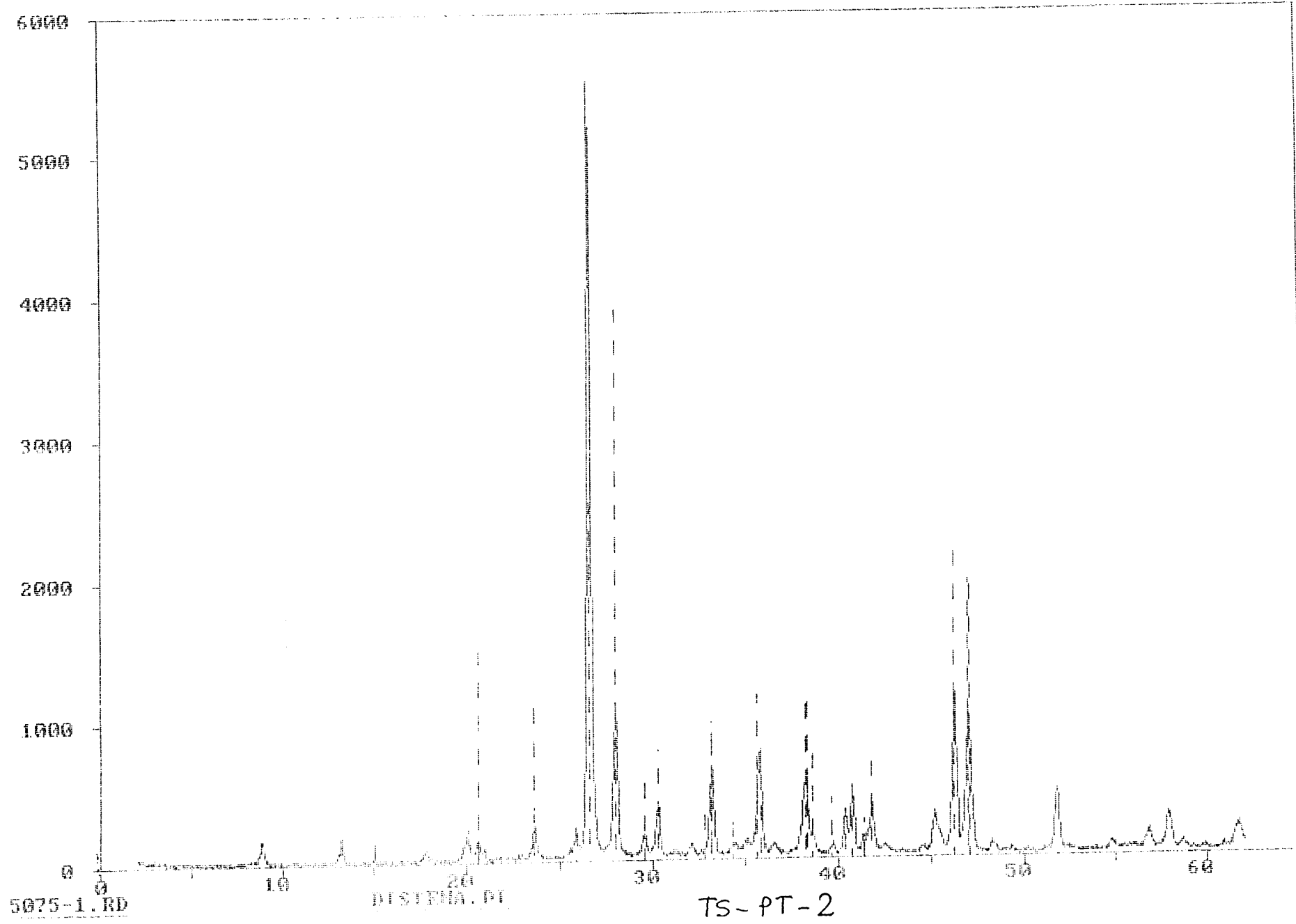
Las tres muestras tienen una composición mineralógica similar: DISTENA(CIANITA), MOSCOVITA y CUARZO.

No se observa en ninguna de las muestras la presencia de SILIMANITA (Se adjunta ampliación de la zona del espectro entre 15° y 40° (ángulo 2 θ) de la muestra TS-PT-2, habiendose marcado con rojo las zonas en que debería haber reflexiones de SILIMANITA).

Madrid, 31 de Octubre de 1990

El Jefe del Servicio Lab. Generales

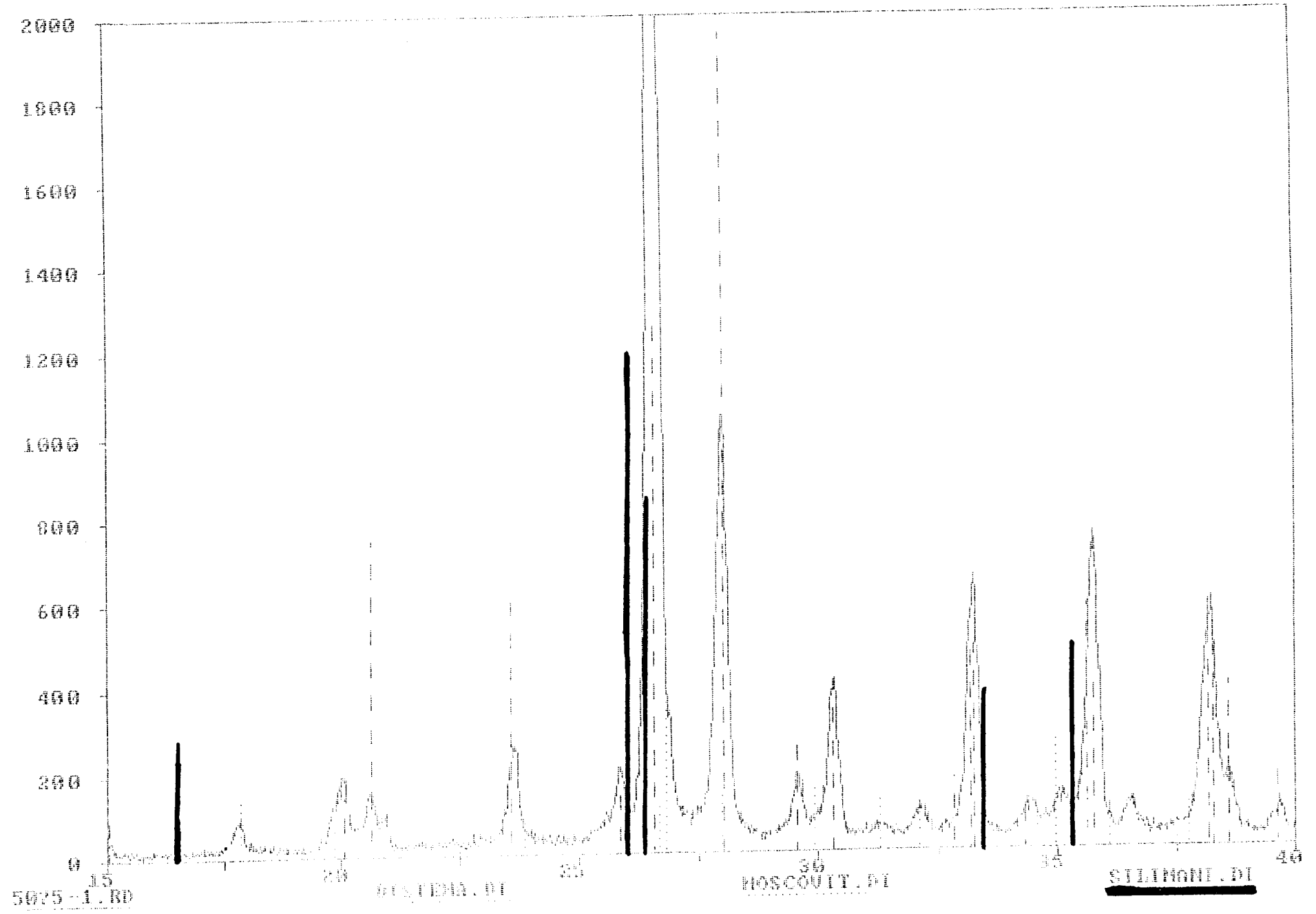




5075-1.RD

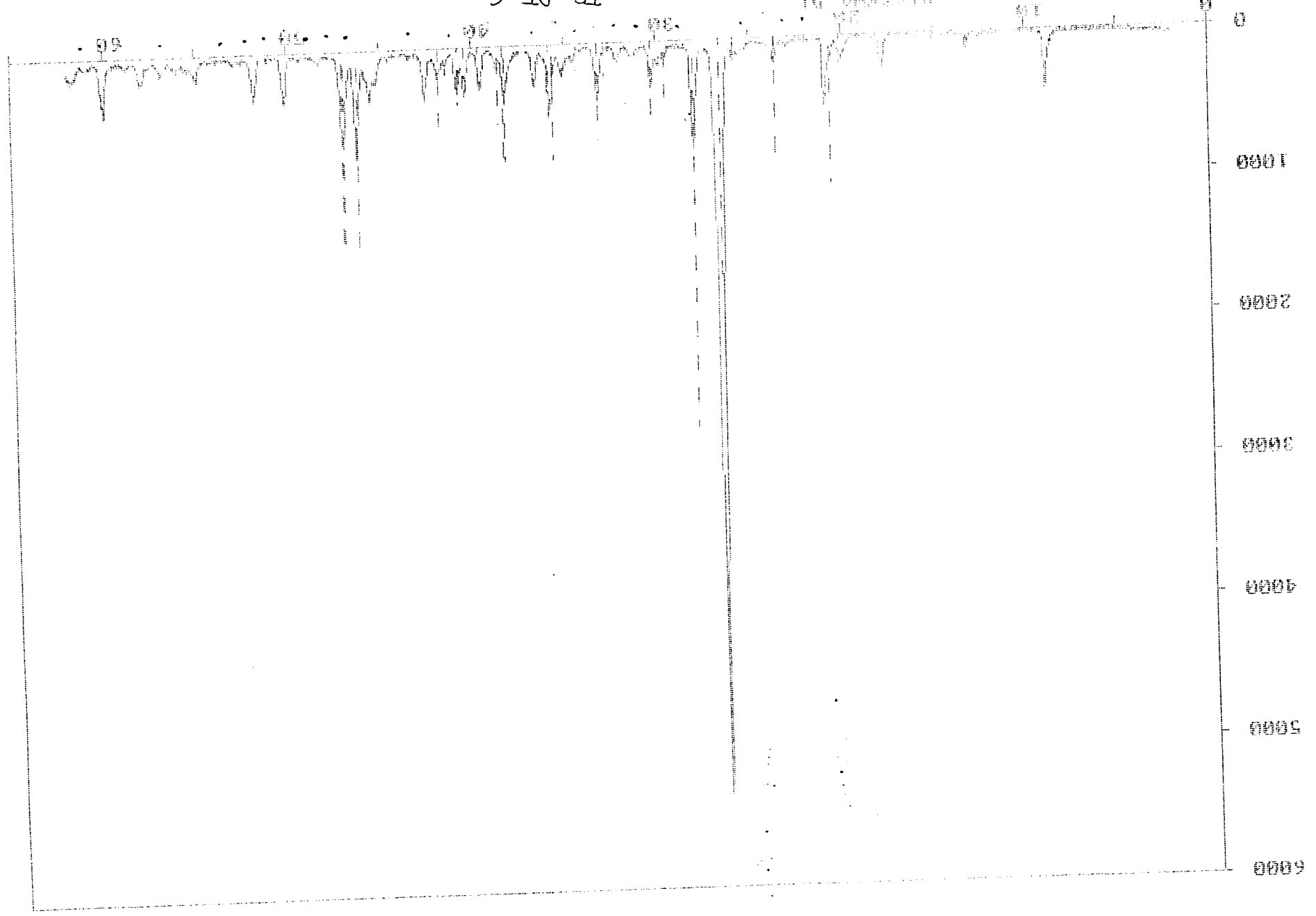
DISTEMA.PI

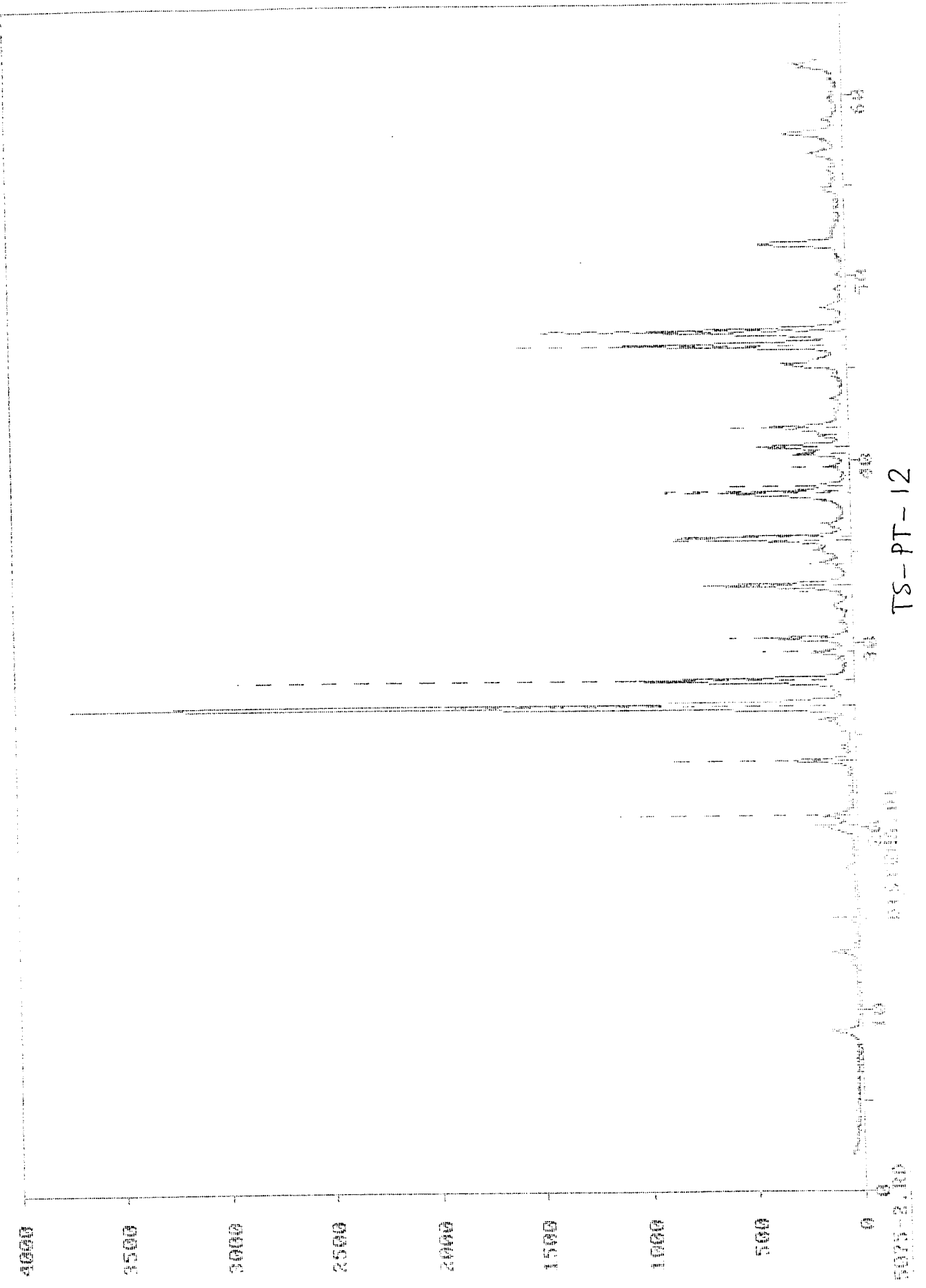
TS-PT-2



TS-PT-6

5075-9-10





TS-PT-12

0.000000

0.000000



ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X DE CINCO MUESTRAS
ENVIADAS POR LA DIVISION DE MINERALURGIA.-----

MUESTRA: TS-VE-1(TODO UNO)

Se observan CLORITA y MOSCOVITA como minerales principales,
y ANDALUCITA como mineral accesorio.

MUESTRA: TS-CE-1(TODO UNO)

Se observan CLORITA y MOSCOVITA como minerales principales,
CUARZO como secundario y trazas de ANDALUCITA

MUESTRA: TS-MR-1 (TODO UNO)

Se observan CUARZO y MOSCOVITA como minerales principales,
y CLORITA como mineral secundario. No se detecta la presen-
cia de ANDALUCITA.

MUESTRA: TR-MR-1 (CNCENTRADO)

Aumenta el contenido en CUARZO, disminuye el de MOSCOVITA,
no se detecta la presencia de CLORITA y se observa ANDALUCITA
como mineral accesorio.

MUESTRA: TS-VA-4 (TODO UNO)

Se observan SILLIMANITA, MOSCOVITA y CUARZO como mineral se-
cundario.

Madrid, 5 de Junio de 1989

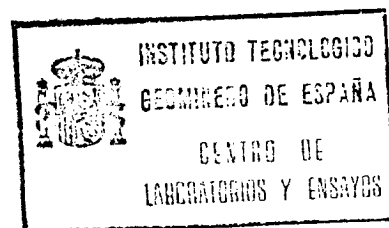


CENTRO DE LABORATORIOS Y ENSAYOS.ITGE.LABORATORIO DE RAYOS X

 ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

 Nombre del Informe.....CONVENIO ITGE-XUNTA SIL-3253

MUESTRA	%SI02	%AL203	%FE203	%CA0	%TI02	%MNO	%K20	%NA20	%MGO	%PPC
TS-MR-1	53.78	24.91	8.060	0.092	0.949	0.067	5.302	0.620	1.201	5.00
TS-VE-1	35.61	39.32	11.397	0.318	1.745	0.039	3.007	0.687	1.724	6.18
TS-CE-1	44.57	27.71	13.516	0.146	1.165	0.106	2.663	1.038	2.848	6.20
TS-VA-4	45.87	35.04	8.724	0.247	1.912	0.091	1.980	0.431	1.417	4.25
TS-PT-2	37.31	59.34	0.600	0.049	0.053	0.000	1.028	0.404	0.077	1.13
TS-PT-3	38.13	57.31	0.533	0.253	0.061	0.004	1.727	0.418	0.121	1.43
TS-PT-4	42.66	54.44	1.318	0.040	0.037	0.005	0.280	0.391	0.022	0.80
TS-XU-2	38.59	56.47	0.893	0.037	0.046	0.000	1.429	0.445	0.082	2.00
TS-XU-3	37.50	59.42	0.758	0.030	0.038	0.000	0.154	0.324	0.059	1.72
TS-CH-1	49.82	36.13	7.614	0.144	1.399	0.068	1.826	0.324	1.489	1.10



CENTRO DE LABORATORIOS Y ENSAYOS.ITGE.LABORATORIO DE RAYOS X

 ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

 Nombre del Informe.....ITGE-XUNTA GALICIA. STL-3516

MUESTRA	XSIO2	XAL2O3	XFE2O3	XCAO	XTIO2	XMO	XI2O	XBA2O	XMG0	XPPC
C-1	40.80	53.69	1.336	0.207	0.123	0.006	1.822	0.499	0.176	1.50
C-2	75.87	16.69	2.926	0.769	0.265	0.033	1.041	0.499	0.701	1.16
C-3	54.27	17.94	6.866	0.808	0.481	0.087	1.401	0.661	10.640	7.00
C-4	67.03	17.29	6.619	0.020	0.851	0.042	3.542	0.526	0.847	3.18
C-5	61.76	21.05	6.165	0.026	0.862	0.056	5.162	0.620	1.096	3.17

CENTRO DE LABORATORIOS Y ENSAYOS.ITGE.LABORATORIO DE RAYOS X

ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

 Nombre del Informe.....STL-3720.SECC. MINERALURGIA

MUESTRA	%SI02	%AL203	%FE203	%CAO	%TI02	%MNO	%K2O	%NA2O	%MGO	%PPC
TS-CK-3	48.68	27.11	9.823	0.291	1.104	0.086	3.034	1.200	2.152	6.46
TS-RD-3	54.33	25.28	9.082	0.416	1.088	0.147	2.969	0.998	2.121	3.50
TS-XU-4	73.55	15.38	1.908	0.194	0.383	0.006	1.229	0.175	0.205	6.93
TS-XU-5	69.91	16.76	5.111	0.267	0.374	0.014	1.882	0.297	0.323	5.00
C-6	49.18	27.32	10.662	0.250	1.073	0.042	3.191	0.674	2.269	5.35
C-7	64.82	21.03	7.335	0.027	0.978	0.069	1.948	0.162	0.739	2.80
C-8	52.00	26.41	7.659	0.046	1.071	0.022	5.654	0.418	1.127	5.54
C-9	52.79	25.16	10.725	0.020	1.047	0.067	3.391	0.216	2.210	4.42

A N E X O III : ESTUDIO DE CONCENTRACION

**ESTUDIO DE CONCENTRACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS
(Distena, Andalucita). GALICIA.**

**** * ****

Dic.1990

Este estudio ha sido realizado en el Centro de Laboratorios y Ensayos del I.T.G.E., y en él han intervenido:

Angel Vázquez García (Dr. Ingeniero de Minas) y
Jorge Alfaro Drest (Dr. Ingeniero de Minas).

1.- OBJETIVO

Uno de los problemas fundamentales para la valoración de zonas con presencia de mineralizaciones de minerales silicoaluminosos, se plantea en relación con la posibilidad de la recuperación de esos minerales a partir de sus menas.

Se consideró por tanto oportuno, durante el desarrollo del Programa de investigación que sobre este tipo de mineralizaciones realiza el ITGE en Galicia, efectuar un estudio de concentración con el fin de obtener indicaciones útiles para la valoración de las distintas zonas, así como orientar en relación con los métodos más adecuados para la concentración industrial de distintos tipos de menas.

2.- ANTECEDENTES

El estudio se ha realizado para los siguientes materiales:

<u>Naturaleza</u>	<u>Ref.</u>	<u>Procedencia</u>
Gravas de distena	C-1	Preconcentrado, obtenido a partir de un depósito detrítico mediante lavado, cribado y estriado a mano.
Gravas con distena	C-2	Rechazo de tamaño grueso, obtenido por lavado y estriado del mismo tipo de material detrítico del que procede C-1.
Limos, arenas y gravas con distena	C-3	Rechazo de tamaño fino, obtenido por lavado del mismo tipo de material detrítico del que proceden C-1 y C-2.
Micaesquistos con andalucita	C-8, C-9	Todo uno, roca metamórfica "in situ"
Esquistos con andalucita	C-6, C-7	" " "
Pizarras con andalucita	TS-CE-3, TS-RD-3	" " "

Se trata de dos especies minerales, distena y andalucita, que tienen igual composición química (Al_2SiO_5), con un contenido teórico del 63,1% en Al_2O_3 y 36,9% en SiO_2 , y cuyas propiedades básicas en relación con el estudio de concentración son:

Mineral	Densidad	Constante dieléctrica	Susceptibilidad magnética
Andalucita	3,13-3,16	8,28	diamagnética
Distena	3,53-3,65	5,7;7,18	diamagnética

Las especificaciones comerciales varían según la aplicación:

Para la distena se aceptan tamaños desde 0,043 mm a 5 mm y contenidos en Al_2O_3 variables entre el 40% y el 61,8%. El contenido en Fe_2O_3 no debe superar el 1,5 % y en CaO+MgO el 0,5%.

La andalucita se comercializa en tamaños desde 0,147 mm a 8 mm y contenidos en Al_2O_3 entre el 52% y el 61,6%. No debe contener más del 1,10% en Fe_2O_3 y del 1,3% en álcalis.

En ambos casos el contenido en SiO_2 debe estar en torno al 37%.

La mayor parte de los productos comerciales se obtienen a partir de las siguientes operaciones:

- Preparación de la mena mediante: Trituración, molienda y clasificación.
- Procesos mineralúrgicos de concentración:
 - Flotación y separación magnética (para tamaños finos).
 - Separación por medios densos y separación magnética (para tamaños gruesos).

3.- ENSAYOS DE CONCENTRACION

3.1.- DISTENAS

3.1.1.- METODOLOGIA, TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS

La metodología empleada en la realización de los ensayos de concentración de las muestras de distena (C-1, C-2 y C-3) se sintetiza en el Esquema-I.

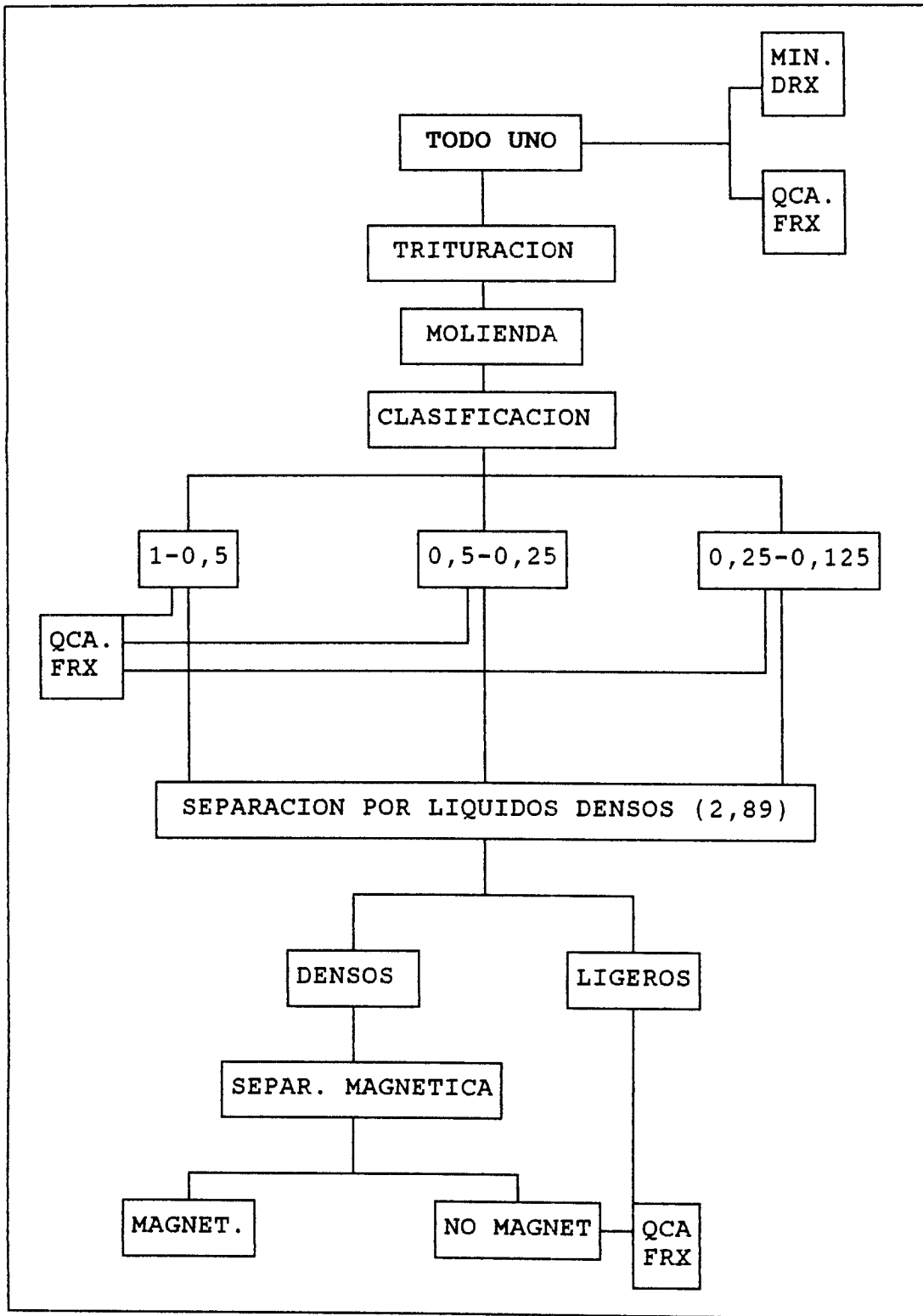
Preparación

Todas las muestras, con las excepciones que se indican, se han preparado mediante:

- Trituración, en machacadora de mandíbulas, (excepto la muestra C-3).

CONCENTRACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS

ESQUEMA - I



- Molienda, en molino de bolas tipo Krupp, con rejilla clasificadora de 1 mm.
- Clasificación, mediante tamices ASTM, realizándose cortes a 1,0; 0,5; 0,25; 0,125 y 0,063 mm (cuadro 1).

CUADRO-1.- CLASIFICACION

TAMAÑO	PESO (%)		
	C-1	C-2	C-3
+ 1	-	-	-
+ 0,5	40,78	40,90	37,29
+ 0,25	15,91	20,10	17,69
+ 0,125	13,95	14,99	17,31
+ 0,063	16,90	13,41	17,69
- 0,063	12,46	10,60	10,02
TOTAL	100	100	100

Análisis de caracterización inicial

El total de la muestra ha sido analizada por difracción de RX (DRX) para conocer su composición mineralógica (cuadro-2) y su composición química se obtuvo por análisis de Fluorescencia de RX (FRX) (cuadro-3).

Las fracciones 1-0,5 mm, 0,5-0,25 mm y 0,25-0,125 mm que se utilizaron para los ensayos de concentración, fueron también analizadas por FRX para conocer su composición química (cuadro-3).

CUADRO-2.- COMPOSICION MINERALOGICA

MUESTRA	MINERAL PRINCIPAL	MINERAL SECUNDARIO	ACCESOR.
C-1	distena	-	mica
C-2	cuarzo	mica, anfíbol distena y clorita	plag.
C-3	distena, cuarzo serpentina	mica y sillim.	fto.

CUADRO 3.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS MUESTRAS CON DISTENA

MUEST. TAMAÑO (mm)		CONTENIDO (%)									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	PPC
C-1	T.U. (-1,0)	40,60	53,69	1,33	0,20	0,12	0,006	1,82	0,49	0,17	1,50
	1,0-0,5	40,43	54,47	1,02	0,23	0,10	0,005	1,52	0,40	0,21	1,56
	0,5-0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,25-0,125	41,38	53,09	1,15	0,17	0,11	0,007	1,62	0,44	0,23	1,75
C-2	T.U. (-1,0)	75,87	16,69	2,92	0,76	0,26	0,03	1,04	0,49	0,70	1,16
	1,0-0,5	73,97	19,41	2,29	0,70	0,24	0,02	0,89	0,39	0,73	1,30
	0,5-0,25	80,10	13,66	2,27	0,65	0,23	0,02	0,78	0,29	0,69	1,26
	0,25-0,125	77,93	15,42	2,47	0,61	0,23	0,03	0,85	0,29	0,68	1,42
C-3	T.U. (-1,0)	54,27	17,94	6,86	0,80	0,48	0,08	1,40	0,66	10,64	7,00
	1,0-0,5	50,24	19,29	6,84	0,82	0,26	0,08	1,05	0,36	15,14	6,28
	0,5-0,25	54,95	17,24	7,18	0,78	0,35	0,09	1,19	0,40	11,98	6,28
	0,25-0,125	59,36	16,48	6,52	0,76	0,51	0,08	1,36	0,52	7,04	7,54

Concentración

Se realizó un primer ensayo de concentración gravimétrica utilizando una mesa de sacudidas tipo Wilfley, en la que se pasó el total de la muestra en el tamaño inferior a 1 mm.

Esta técnica se desechó al observarse que no se producía una buena separación de la distena, que pasaba tanto al concentrado como al estéril y mixto.

Separación en medios densos

Se optó por emplear la separación en medios densos, utilizando bromoformo ($d=2,89 \text{ g/cm}^3$).

Para facilitar la obtención del balance de la operación y establecer el tamaño más enriquecido en Al_2O_3 , después de molienda a menos de 1 mm, se realizó la separación de cada una de las siguientes fracciones: 1,0-0,5 mm, 0,5-0,25 mm y 0,25-0,125 mm, evitando así las interferencias de los tamaños finos en la separación.

Separación magnética de alta intensidad

Se utilizó la separación magnética, de alta intensidad en vía seca, mediante un separador Frantz Isodynamic a una inducción magnética de 12.000 Gauss, (la muestra C-3, debido a su contenido en serpentina, que tiene alta susceptibilidad magnética, fue pasada previamente a baja intensidad (4.800 Gauss) con el fin de evitar dificultades en la separación a alta intensidad).

La separación magnética se realizó para cada una de las fracciones de densos obtenidas en la separación con bromoformo.

Los resultados tanto de la separación gravimétrica con líquidos densos, como de la separación magnética y de las dos operaciones globalmente, (balance de pesos, contenido en Al_2O_3 y recuperación), se recogen en los cuadros 4, 5 y 6.

Análisis de caracterización final

Se realizó el análisis químico (FRX) de la fracción densa no magnética, que corresponde al concentrado de distena, y de la fracción ligera para comprobar que la separación por líquidos densos ha sido eficaz (cuadro-7).

3.1.2.- CONCLUSIONES

- Una vez molidas las muestras a 1 mm, los mayores contenidos en alúmina se obtienen en la fracción granulométrica de 1,0 a 0,5 mm.

CUADRO 4.- RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA C-1

GRAVIMETRIA	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)
LIGEROS	7,72	-	-	15,02	-	-	18,29	-	-
PESADOS	92,28	-	-	84,98	-	-	81,71	-	-
TODO-UNO	100	54,47	100	100	-	100	100	53,09	100

SEPARACION MAGNETICA	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)
PESADOS MAGNETICOS	9,55	-	-	3,67	-	-	3,95	-	-
PESADOS NO MAGNETICO	90,45	58,27	-	96,33	58,17	-	96,05	58,08	-
PESADOS	100	-	100	100	-	100	100	-	100

TOTALES GLOBALES	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)
LIGEROS	7,72	-	-	15,02	-	-	18,29	-	-
PESADOS MAGNETICOS	8,81	-	-	3,11	-	-	3,22	-	-
PESADOS NO MAGNETICO	83,47	58,27	89,29	81,87	58,17	-	78,49	58,08	85,86
TODO-UNO	100	54,47	100	100	-	100	100	53,09	100

CUADRO 5.- RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA C-2.

GRAVIMETRIA	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	36,64	2,53	4,77	74,54	3,68	20,08	77,60	4,88	24,55
PESADOS	63,36	29,17	95,23	25,46	42,87	79,92	22,40	51,93	75,45
TODO-UNO	100	19,41	100	100	13,66	100	100	15,42	100

SEPARACION MAGNETICA	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
PESADOS MAGNETICOS	24,30	37,86	31,54	29,20	8,56	5,83	25,68	32,53	16,09
PESADOS NO MAGNETICO	75,70	26,38	68,46	70,80	57,02	94,17	74,32	58,63	83,91
PESADOS	100	29,17	100	100	42,87	100	100	51,93	100

TOTALES GLOBALES	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	36,64	2,53	4,74	74,54	3,68	20,08	77,60	4,88	24,52
PESADOS MAGNETICOS	15,39	37,86	30,01	7,43	8,56	4,61	5,75	32,53	12,13
PESADOS NO MAGNETICO	47,97	26,38	65,25	18,03	57,02	75,31	16,66	58,63	63,35
TODO-UNO	100	19,41	100	100	13,66	100	100	15,42	100

CUADRO 6.- RESULTADOS DE LA CONCENTRACION DE LA MUESTRA C-3

GRAVIMETRIA	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	67,83	5,37	18,88	74,09	6,95	29,87	80,93	9,04	44,39
PESADOS	32,17	48,64	81,11	25,91	46,66	70,13	19,07	48,05	55,60
TODO-UNO	100	19,29	100	100	17,24	100	100	16,48	100

SEPARACION MAGNETICA	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
PESADOS MAGNETICOS	21,90	26,06	11,73	32,00	25,66	17,60	35,15	31,11	22,76
PESADOS NO MAGNETICO	78,10	54,97	88,27	68,00	56,47	82,30	64,87	57,23	77,26
PESADOS	100	48,64	100	100	46,66	100	100	48,05	100

TOTALES GLOBALES	1,0-0,5 mm.			0,50-0,25 mm.			0,25-0,125 mm.		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	67,83	5,37	18,88	74,09	6,95	29,87	80,93	9,04	44,39
PESADOS MAGNETICOS	7,04	26,06	9,51	8,28	25,66	12,32	6,69	31,11	12,63
PESADOS NO MAGNETICO	25,13	54,97	71,61	17,63	56,47	57,75	12,38	57,23	42,99
TODO-UNO	100	19,29	100	100	17,24	100	100	16,48	100

CUADRO 7.-COMPOSICION QUIMICA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA CONCENTRACION DE LAS MUESTRAS CON DISTENA

MUESTRA FRACCION TAMAÑO(mm)			CONTENIDOS (%)									
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P.P.C.
C-1	C1PD	1,0-0,5	37,45	58,27	0,74	0,22	0,07	0,002	1,45	0,35	0,16	1,26
		0,5-0,25	37,14	58,17	1,04	0,21	0,10	0,004	1,33	0,35	0,18	1,43
		0,25-0,125	37,24	58,08	1,07	0,20	0,10	0,006	1,14	0,27	0,16	1,68
C-2	C-2L	1,0-0,5	94,75	2,53	0,76	0,13	0,08	0,005	0,45	0,21	0,21	0,84
		0,5-0,25	93,17	3,68	0,84	0,15	0,09	0,005	0,71	0,22	0,17	0,92
		0,25-0,125	90,89	4,88	1,16	0,23	0,12	0,008	0,79	0,28	0,34	1,26
	C2PD	1,0-0,5	70,29	26,38	0,53	0,13	0,06	0,000	1,15	0,25	0,08	1,08
		0,5-0,25	37,94	57,02	0,91	0,28	0,09	0,004	1,41	0,37	0,19	1,70
		0,25-0,125	37,05	58,63	0,79	0,29	0,10	0,004	1,12	0,29	0,26	1,42
C-3	C3L	1,0-0,5	56,50	5,37	5,81	0,74	0,17	0,06	0,86	0,37	22,38	8,53
		0,5-0,25	62,50	6,95	5,03	0,69	0,23	0,05	1,21	0,44	16,38	6,96
		0,25-0,125	66,75	9,04	4,13	0,61	0,29	0,04	1,38	0,59	9,29	8,15
	C3PD	1,0-0,5	38,77	54,97	1,47	0,31	0,14	0,008	1,70	0,28	0,31	2,01
		0,5-0,25	37,50	56,47	1,52	0,38	0,19	0,010	1,31	0,29	0,33	1,93
		0,25-0,125	37,53	57,23	1,19	0,38	0,33	0,008	1,04	0,28	0,27	1,63

CXL : Fracción ligera (Medios densos)

CXPD: Fracción pesada no magnética (concentrado de distena)

* Muestra C-1:

- El total de la muestra tiene un contenido en Al_2O_3 (53,69%), Fe_2O_3 (1,33%) y $\text{CaO}+\text{MgO}$ (0,37%) que permiten considerarla como un producto comercial de calidad media.

- La separación por líquidos densos seguida por la separación magnética de alta intensidad consigue incrementar el contenido en Al_2O_3 , (>58%), disminuir el Fe_2O_3 , manteniéndose el contenido en $\text{CaO}+\text{MgO}$. Se logra así un material que puede considerarse de alta calidad, para el rango granulométrico considerado (1,0-0,125 mm), con una recuperación alta, tanto en relación al rango granulométrico como al todo uno.

* Muestra C-2 :

- Si bien el mayor contenido en Al_2O_3 se obtenía en la fracción granulométrica de 1,0-0,5 mm, los mayores enriquecimientos se consiguen en el rango 0,5-0,125 mm al concentrar por líquidos densos con posterior separación magnética de alta intensidad, lográndose así un producto de calidad (57-58% en Al_2O_3), si bien el contenido en $\text{CaO}+\text{MgO}$ (0,47-0,55%) está en torno al límite especificado. Las recuperaciones se sitúan entre el 63 y el 75% respecto al rango granulométrico y son bajas en los tamaños menores de 0,5 mm respecto al todo uno.

* Muestra C-3 :

- Al igual que en la muestra anterior se produce una mejor liberación de la distena, por molienda a 1 mm, en los tamaños mas finos, llegándose, mediante el proceso de concentración empleado, a obtener productos comerciales en las fracciones consideradas (rango granulométrico de 1,0 a 0,125 mm), si bien muy al límite de las especificaciones en cuanto al contenido en Fe_2O_3 y sobrepasándolo en lo referente a $\text{CaO}+\text{MgO}$ (hasta el 0,71%). La recuperación, respecto al rango granulométrico, varía desde el 43% en la fracción más fina al 72% en la más gruesa y son bajos respecto al todo uno (menos del 10 %).

3.2.- ANDALUCITAS

3.2.1.- METODOLOGIA, TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS

En la concentración aplicada a muestras con andalucita (C-6, C-7, C-8, C-9, TS-CE-3 y TS-RD-3) se ha seguido la metodología indicada en los Esquemas II y III.

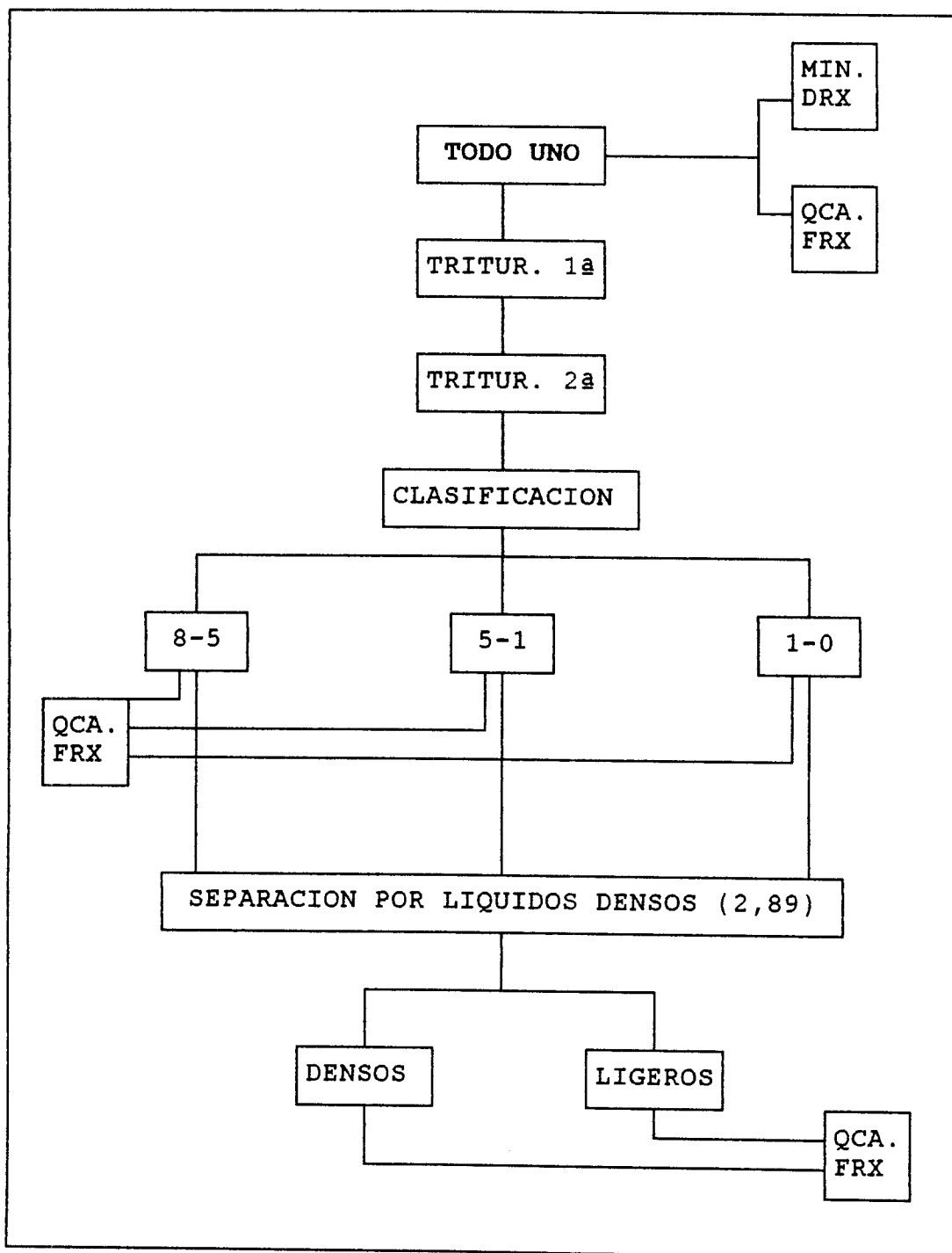
Preparación

Los trabajos de preparación consistieron en:

- Trituración 1ª, en machacadora de mandíbulas.

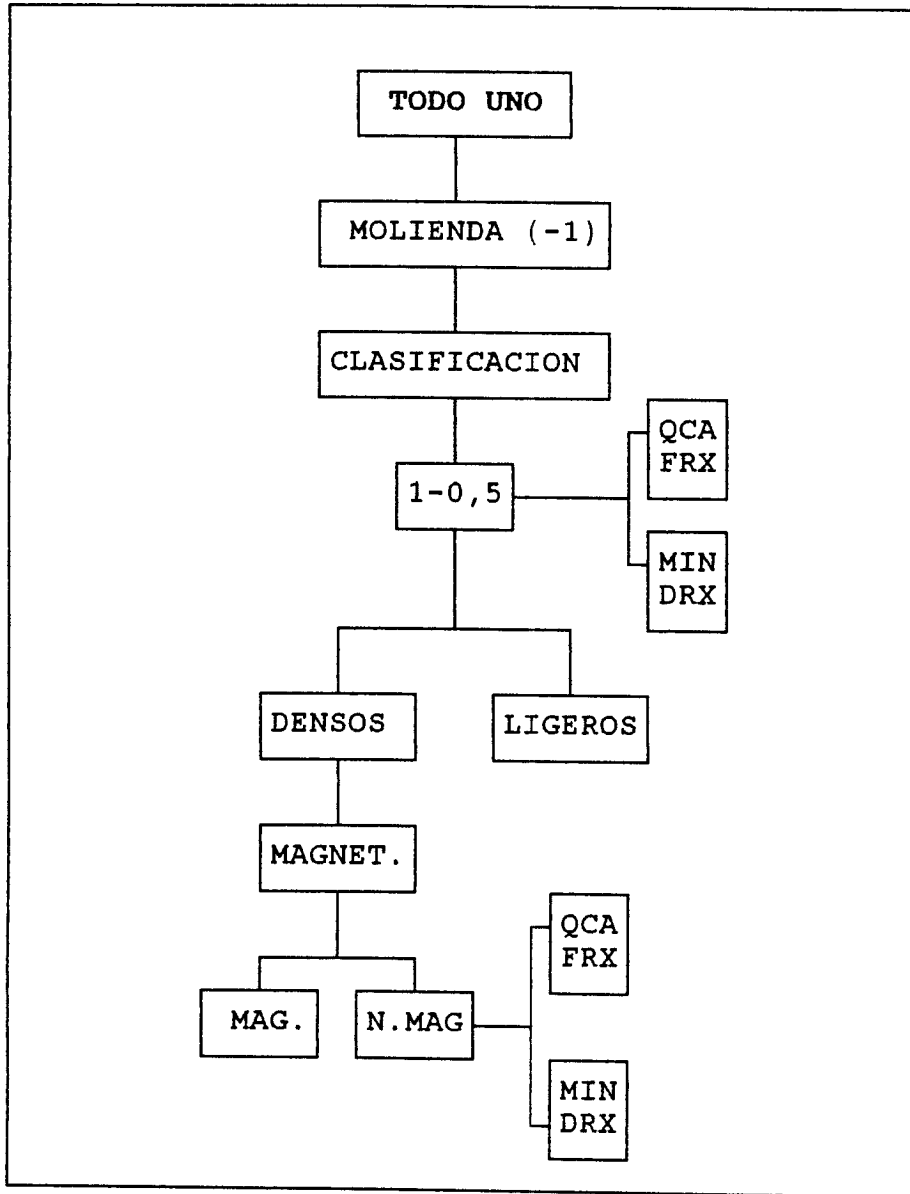
CONCENTRACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS

ESQUEMA - II



CONCENTRACION DE MINERALES SILICOALUMINOSOS

ESQUEMA - III



- Trituración 2ª, en molino de impactos.
- Clasificación, mediante tamices con cortes a 8, 5 y 1 mm, (cuadro 8).

CUADRO-8.- CLASIFICACION

TAMAÑO (mm.)	PESO (%)					
	C-6	C-7	C-8	C-9	TS-CE-3	TS-RD-3
+ 5	4,48	0,54	2,42	0,58	5,46	4,18
+ 1	45,57	35,70	36,40	31,92	42,91	51,08
- 1	49,95	63,76	61,18	67,50	51,63	44,74
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Análisis de caracterización inicial

El total de la muestra fue analizado por DRX para conocer su composición mineralógica (cuadro 9) y por FRX (excepto el Na, que se analizó por absorción atómica), para obtener su composición química (cuadro-10, en el que se recoge también la composición química de las muestras C-6 a C-9 en la fracción de 1,0-0,5 mm que posteriormente ha sido procesada con líquidos densos y separación magnética).

CUADRO-9.- COMPOSICION MINERALOGICA

MUESTRA	MINERAL PRINCIPAL	ACCESORIOS Y TRAZAS
C-6	clorita, mica, cuarzo	andalucita
C-7	mica, andal., cuarzo	clorita
C-8	mica, clorita, cuarzo	-
C-9	mica, andal., cuarzo	arc., sepiol./esmec.?
TS-CE-3	clorita, mica, cuarzo	-
TS-RD-3	mica, andal., cuarzo	-

Igualmente se analizó el contenido en Al_2O_3 de las fracciones granulométricas obtenidas en la clasificación del todo uno (cuadro-11) y la composición química total de la fracción entre 1,0 y 0,5 mm (cuadro 12).

CUADRO 10.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS MUESTRAS CON ANDALUCITA

TODO UNO MUESTRA	CONTENIDOS (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P.P.C.
C-6	49,18	27,32	10,66	0,25	1,07	0,04	3,19	0,67	2,26	5,35
C-7	64,82	21,03	7,33	0,02	0,97	0,06	1,94	0,16	0,73	2,80
C-8	52,00	26,41	7,65	0,04	1,07	0,02	5,65	0,41	1,12	5,54
C-9	52,79	25,16	10,72	0,02	1,04	0,06	3,39	0,21	2,21	4,42
TS-CE-3	48,68	27,11	9,82	0,29	1,10	0,08	3,03	1,20	2,15	6,46
TS-RD-3	54,33	25,28	9,08	0,41	1,08	0,14	2,96	0,99	2,12	3,50
1,0-0,5										
C-6	48,96	27,66	10,55	0,28	1,07	0,04	3,54	0,78	2,13	4,90
C-7	67,58	18,39	7,23	0,05	0,89	0,06	2,21	0,35	0,71	2,40
C-8	53,18	24,75	8,00	0,09	1,11	0,02	5,81	0,45	1,17	5,35
C-9	56,21	23,09	9,98	0,04	0,97	0,06	3,52	0,26	1,93	3,92
C-6(8-5)	41,62	35,97	8,22	0,48	1,18	0,03	4,49	1,18	1,77	5,02
C-6(5-1)	46,92	29,88	9,48	0,33	1,08	0,03	4,06	0,91	2,03	5,24
C-6(1-0)	52,69	23,16	12,14	0,13	1,06	0,04	2,93	0,44	2,42	4,90

CUADRO-11.- COMPOSICION QUIMICA DE LAS FRACCIONES

TAMAÑO (mm.)	CONTENIDO EN Al ₂ O ₃ (%)					
	C-6	C-7	C-8	C-9	TS-CE-3	TS-RD-3
8-5	35,97	25,18	32,21	19,55	27,26	24,48
5-1	29,88	28,62	29,07	30,27	27,40	25,18
1-0	23,16	16,74	24,59	22,79	26,85	25,46
T.U.	27,32	21,03	26,41	25,16	27,11	25,28

Concentración

Se ensayó, como ya se había hecho para las muestras con distena, la concentración gravimétrica en mesa de sacudidas tipo Wilfley para tamaños de 1,0-0,0 mm, observándose que tampoco se produce una separación eficaz, como muestran los resultados del ensayo realizado para una muestra de esquistos con andalucita (C-6), recogidos en el cuadro-12.

CUADRO-12.-RESULTADOS CONC.EN MESA DE C-6

FRACCION	PESO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	RECUP. (%)
PESADOS	12,63	27,07	14,76
MIXTOS	35,22	21,93	33,35
LIGEROS	35,77	22,64	34,97
LAMAS	16,38	23,92	16,92
T.U.	100	23,16	100

Para conocer la eficacia de la concentración de tamaños gruesos utilizando Jigs tipo Denver, se procesó la muestra C-6 cuyos resultados se recogen en el cuadro-13.

CUADRO-13: RESULTADOS DE CONC. EN JIG DE C-6

FRACCION	PESO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	RECUP. (%)
PESADOS	48,85	34,24	55,79
MIXTOS	42,65	25,42	36,17
LIGEROS	8,50	28,39	8,04
T.U.	100	29,88	100

Separación en medios densos

Se realizó utilizando bromoformo (2,89 g/cm³). y para todas las muestras en los rangos granulométricos de 8-5 mm y 5,0-1,0 mm y en el de 1,0-0,5 mm (procedente del molido, a menos de 1 mm, del total de la muestra, Esquema-III). Los resultados (balance de pesos, contenido en Al₂O₃ y recuperación), se recogen en el cuadro-14.

Separación magnética de alta intensidad

Las fracciones de densos obtenidas en la separación en medios densos de las muestras C-6 a C-9 en la fracción de 1,0-0,5 mm se pasaron por el separador Frantz Isodynamic a 12.000 Gauss (cuadro-15) para obtener un concentrado enriquecido en andalucita (fracción densa no magnética).

No se aplicó la separación magnética de alta intensidad a las fracciones más gruesas al superar los tamaños de grano los límites admisibles por las técnicas de laboratorio disponibles.

Análisis de caracterización final

Se realizó el análisis químico (FRX; para el Na por AA.) de los productos (ligeros y densos) obtenidos de todas las muestras a partir de las fracciones 8,0-5,0 y 5,0-1,0 mm y de los concentrados (densos no magnéticos) de la fracción de 1,0-0,5 mm conseguidos de las muestras C-6, C-7, C-8 y C-9 (cuadros 16 y 17).

3.2.2.- CONCLUSIONES

- Por clasificación (después de machaqueo a -8 mm), el contenido en Al₂O₃ es menor, (excepto en la muestra C-9), en la fracción de 1,0-0,0 mm que en los tamaños más gruesos. Los mayores contenidos se obtienen en la fracción de 8,0-5,0 mm, para las muestras C-6 y C-8, y en la de 5-1 mm para las C-7 y C-9. Las muestras TS-CE-3 y TS-RD-3 no presentan segregaciones importantes.

- Los contenidos en Al_2O_3 en los concentrados obtenidos por medios densos, no superarán el 41,5%, (C-9 en el rango de 5-1 mm), en ninguno de los rangos granulométricos, siendo muy similar el contenido obtenido entre 8-5 mm y 5-1 mm (C-6 y C-7) o mayores en 5-1 mm (C-9).

El resto de las muestras tienen contenidos en general menores y bajos porcentajes de recuperación siendo, por tanto, menos interesantes.

- Las recuperaciones de Al_2O_3 en los concentrados de medios densos son altas, con relación al rango granulométrico, para las muestras C-6, C-7 y C-9 y principalmente entre 5 y 1 mm, siendo este rango el más interesante, más aún si se tiene en cuenta el porcentaje de recuperación respecto al todo uno (del orden del 40% al 45% para C-6 y C-7).

- Para el rango granulométrico de 1,0-0,5 mm y en la fracción pesada no magnética, se obtienen contenidos en Al_2O_3 superiores al 40%, llegándose al 57,63% en la muestra C-9, con un contenido en Fe_2O_3 de 1,6%.

- Teniendo en cuenta que las fracciones más gruesas que 1 mm, no han podido pasarse por el separador magnético Frantz (limitación de la técnica), podrían esperarse mejores resultados una vez sometidas las fracciones densas a separación magnética.

No obstante se plantean algunos problemas respecto a la concentración de estas muestras en medios densos:

- Bajos ratios de enriquecimiento (en torno a 1), y exceptuando las muestras C-6, C-7 y C-9 (ésta de 5 a 1 mm), existe poca segregación de la alúmina en los densos con relación a los ligeros.

- La DRX del concentrado obtenido de la muestra C-6 muestra como constituyentes principales las micas.

Parece que la separación de la andalucita, en medios densos, no se ha producido netamente y han existido arrastres de micas seguramente importantes.

- En cualquier caso, las muestras más interesantes son la C-6, C-7 y C-9 y para el rango granulométrico de 5 a 0,5 mm, no siendo suficiente la separación por medios densos que debe completarse con separación magnética.

CUADRO 14.- RESULTADOS DE LA CONCENTRACION POR MEDIOS DENSOS DE LAS MUESTRAS CON ANDALUCITA.

	C - 6		
8 - 5 mm.	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	10,28	22,15	6,33
PESADOS	79,72	35,91	79,59
TODO-UNO	100	35,97	

	C - 7		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	39,62	15,69	24,69
	61,38	30,91	75,35
	100	25,18	

	C - 8		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	92,68	31,98	92,00
	7,32	35,23	8,0
	100	32,21	

	C - 9		
8 - 5 mm.	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	65,29	19,52	65,19
PESADOS	34,71	19,62	34,83
TODO-UNO	100	19,55	

	TS-CE-3		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	81,20	26,52	79,00
	19,80	28,94	21,02
	100	27,26	

	TS-RD-3		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	90,01	24,29	89,31
	9,99	26,20	10,70
	100	24,48	

	C - 6		
5 - 1 mm.	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	24,38	17,17	14,00
PESADOS	75,62	35,14	88,93
TODO-UNO	100	29,88	

	C - 7		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	30,67	14,38	15,41
	69,33	34,92	84,59
	100	28,62	

	C - 8		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	84,75	29,22	85,19
	15,25	28,30	14,85
	100	29,07	

	C - 9		
5 - 1 mm.	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
LIGEROS	51,27	18,79	31,83
PESADOS	49,73	41,51	68,20
TODO-UNO	100	30,27	

	TS-CE-3		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	75,80	26,41	73,06
	24,20	30,52	26,96
	100	27,40	

	TS-RD-3		
	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup. (%)
	83,54	23,23	77,07
	16,46	32,31	21,12
	100	25,18	

CUADRO 15.- RESULTADOS DE LA CONCENTRACION (MEDIOS DENSOS + SEPARACION MAGNETICA) DE MUESTRAS CON ANDALUCITA.

	C-6			C-7			C-8			C-9		
1,0 - 0,5	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)	Peso(%)	Al ₂ O ₃ (%)	Recup.(%)
LIGEROS	19,29	-	-	43,74	-	-	74,24	-	-	46,65	-	-
PESADOS MAGNETICOS	45,15	-	-	39,59	-	-	19,10	-	-	32,98	-	-
PESADOS NO MAGNETICO	35,56	41,02	52,74	16,67	44,09	39,97	6,66	34,87	9,38	20,37	57,63	50,84
TODO-UNO	100	27,66	-	100	18,39	-	100	24,75	-	100	23,09	-

CUADRO 16.- COMPOSICION QUIMICA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA CONCENTRACION DE LAS MUESTRAS CON ANDALUCITA.

MEDIOS DENSOS		CONTENIDOS (%)									
MUESTRA	TAMAÑO(mm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P.P.C.
C6L	5 - 1	63,48	17,17	9,11	0,06	0,75	0,03	2,65	0,56	1,77	4,34
C6P	5 - 1	40,61	35,14	9,41	0,41	1,19	0,03	4,49	1,21	2,04	5,45
C6L	8 - 5	57,28	22,15	8,86	0,15	0,84	0,03	3,40	0,67	1,71	4,84
C6P	8 - 5	41,01	35,91	8,90	0,50	1,17	0,03	4,32	0,99	2,00	5,13
C7L	5 - 1	71,55	14,38	7,06	0,02	0,76	0,05	2,32	0,29	0,78	2,68
C7P	5 - 1	50,41	34,92	7,46	0,03	1,38	0,07	2,02	0,44	0,80	2,37
C7L	8 - 5	70,86	15,69	7,15	0,02	0,74	0,05	2,01	0,20	0,74	2,43
C7P	8 - 5	53,21	30,91	8,03	0,03	1,35	0,08	2,53	0,18	0,86	2,67
C8L	5 - 1	49,30	29,22	5,66	0,03	0,91	0,01	7,80	0,55	0,95	5,48
C8P	5 - 1	41,47	28,30	12,72	0,10	1,56	0,04	5,82	0,55	2,30	7,08
C8	8 - 5	46,98	31,98	4,91	0,04	0,88	0,01	8,20	0,53	0,89	5,52
C8P	8 - 5	43,50	35,23	4,06	0,38	0,84	0,009	8,40	0,87	0,78	5,83
C9L	5 - 1	54,00	18,79	12,68	0,01	1,21	0,07	4,86	0,39	2,68	5,33
C9P	5 - 1	42,00	41,51	8,80	0,02	0,90	0,05	2,46	0,10	1,70	2,44
C9L	8 - 5	53,87	19,52	11,94	0,01	1,12	0,06	5,02	0,43	2,51	5,52
C9P	8 - 5	53,62	19,62	12,35	0,01	1,19	0,07	4,96	0,41	2,63	5,17
TS-CE-3(L)	5 - 1	51,75	26,41	8,15	0,26	1,12	0,06	3,43	1,32	1,75	5,63
TS-CE-3(P)	5 - 1	40,37	30,52	13,84	0,40	1,00	0,12	2,67	1,24	2,95	6,91
TS-CE-3(L)	8 - 5	50,67	26,52	8,87	0,27	1,13	0,07	3,40	1,22	1,94	5,80
TS-CE-3(P)	8 - 5	41,25	28,94	14,23	0,26	1,07	0,12	2,96	1,14	3,05	6,94
TS-RD-3(L)	5 - 1	56,29	23,23	8,82	0,44	1,10	0,15	3,51	1,07	2,13	3,12
TS-RD-3(P)	5 - 1	49,21	32,31	9,62	0,35	0,94	0,09	2,62	0,63	2,02	2,10
TS-RD-3(L)	8 - 5	56,05	24,29	8,54	0,42	1,10	0,14	3,44	1,03	2,08	2,78
TS-RD-3(P)	8 - 5	54,10	26,20	9,13	0,44	1,01	0,12	3,05	0,93	2,06	2,83
JIGS											
C6L	5 - 1	48,53	28,39	9,74	0,28	1,09	0,03	3,88	0,83	2,09	5,08
C6P	5 - 1	48,33	34,24	8,40	0,43	1,14	0,03	4,37	1,11	1,76	5,15
MESA											
C6L		51,78	22,64	12,67	0,11	1,07	0,05	3,17	0,45	2,59	5,42
C6M	1 - 0	54,17	21,93	12,02	0,15	0,99	0,04	2,79	0,45	2,55	4,87
C6P		54,89	27,07	8,93	0,22	0,84	0,03	2,12	0,54	1,78	3,67

L-Ligeros P-Pesados M-Mixtos

CUADRO 17: COMPOSICION QUIMICA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS EN LA CONCENTRACION DE LAS MUESTRAS CON ANDALUCITA EN LA FRACCION DE 1,0-0,5 mm.

MUEST.	CONTENIDOS EN LA FRACCION PESADA NO MAGNETICA (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	P.P.C.
C6	41,67	41,02	3,30	0,70	1,07	0,02	5,61	1,35	0,68	4,53
C7	48,04	44,09	3,40	0,07	1,26	0,05	1,01	0,04	0,30	1,68
C8	44,12	34,87	3,49	0,31	1,21	0,01	9,09	0,74	0,62	5,45
C9	38,83	57,63	1,61	0,04	0,25	0,01	0,49	0,13	0,22	0,76