

SICDAN - 92/44



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**ESTUDIO DE CONCENTRACION DE
ANDALUCITAS DE O ROSAL**

Diciembre, 1992



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

11327

Este estudio ha sido promovido por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España, en régimen de colaboración económica con la Dirección Xeral de Industria de la Xunta de Galicia, actuando como empresa contratista NORCONTROL, S.A.

En la realización de este proyecto han intervenido:

Angel Ferrero Arias (geólogo, I.T.G.E.)- Director y coordinador del proyecto.

Joaquín Eulalio Ruiz Mora (ingeniero técnico de minas, NORCONTROL, S.A.)-
Estudio mineralúrgico.

José M^a Toyos Sáenz de Miera (geólogo, I.T.G.E.)- Geología y toma de muestra.

También han colaborado en el estudio:

Area de Petrología. Departamento de Geología. (Univ. de Oviedo)- Estudio petrográfico.

Francisco Ramírez de Mora (ingeniero técnico de minas, I.T.G.E.)- Mineralometría.

Centro de Laboratorios y Ensayos del I.T.G.E. - Análisis químicos, DRX y estudio de microsonda.

Agradecimientos: Agradecemos a la empresa PENEDOS, S.L., y en especial a Juan Carlos Mirre, toda la colaboración facilitada para el desarrollo de este proyecto.

INDICE

MEMORIA

1. INTRODUCCION	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. SITUACION GEOGRAFICA Y RASGOS GEOLOGICOS	1
1.3. CARACTERISTICAS DEL SECTOR EN EL QUE SE TOMO LA MUESTRA	3
2. OBJETIVOS	5
3. ESTUDIOS PRELIMINARES. ANALISIS DE LA INFORMACION DISPONIBLE	6
4. ENSAYOS	8
4.1. METODOLOGIA	8
4.2. MOLIENDA	11
4.3. SEPARACION MAGNETICA EN LECHO FLUIDO	17
4.4. LIQUIDOS DENSOS	21
5. RESULTADOS	26
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
6.1. CONCLUSIONES	27
6.2. RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES SOBRE EL Fe EN CONCENTRADO	28

A N E X O S

1. ESTUDIO PETROGRAFICO
2. MINERALOMETRIA
3. ANALISIS QUIMICOS
4. ANALISIS POR DRX
5. ESTUDIO DE MICROSONDA
6. PLANO

*** * ***

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

En el proyecto "Investigación de Minerales Sílicoaluminosos en Galicia", realizado por el I.T.G.E. entre 1988 y 1990, se delimitaron y estudiaron diversas zonas de interés potencial para la explotación de andalucita, distena y sillimanita como materias primas para la fabricación de materiales refractarios.

Una de las áreas consideradas como más interesantes es la denominada "Zona de Monteferro-Rosal", en la que existen diversos tipos de mineralizaciones de andalucita de origen metamórfico.

Dentro del mencionado proyecto, se realizaron algunos ensayos de concentración con varios tipos de esquistos andalucíticos de dicha zona, obteniéndose resultados relativamente aceptables con una de las muestras (andalucita de tipo 3). Por este motivo, se procedió a tomar una muestra de mayor volumen (100 kg) para realizar nuevos ensayos de concentración con dicho material.

En este informe se pretende exponer el procedimiento seguido en los ensayos mineralúrgicos que se han llevado a cabo en esta segunda fase y los resultados obtenidos. Previamente se hará una breve referencia sintética a la geología de la zona donde se ha tomado la muestra y a las características de la mineralización.

Se ha contado con la colaboración de la empresa PENEDOS, S.L., propietaria del permiso de investigación "Tomiño" (nº 2.541), dentro del cual se encuentra la zona muestreada, que también ha suministrado información adicional obtenida en investigaciones previas sobre este mismo material.

1.2. SITUACION GEOGRAFICA Y RASGOS GEOLOGICOS

La Zona de Monteferro-Rosal se localiza en la parte SO de la provincia de Pontevedra (ver fig. 1.1), correspondiendo a una banda de rocas metasedimentarias que se extiende en dirección N-S, limitada al E y al O por cuerpos graníticos.

En el estudio previo al que se ha hecho referencia se investigó en detalle un sector situado en el extremo meridional de la Zona, en el que se pudo cartografiar a escala 1:10.000 la distribución de seis tipos distintos de andalucita ligados a diferentes niveles litológicos de la sucesión metasedimentaria.

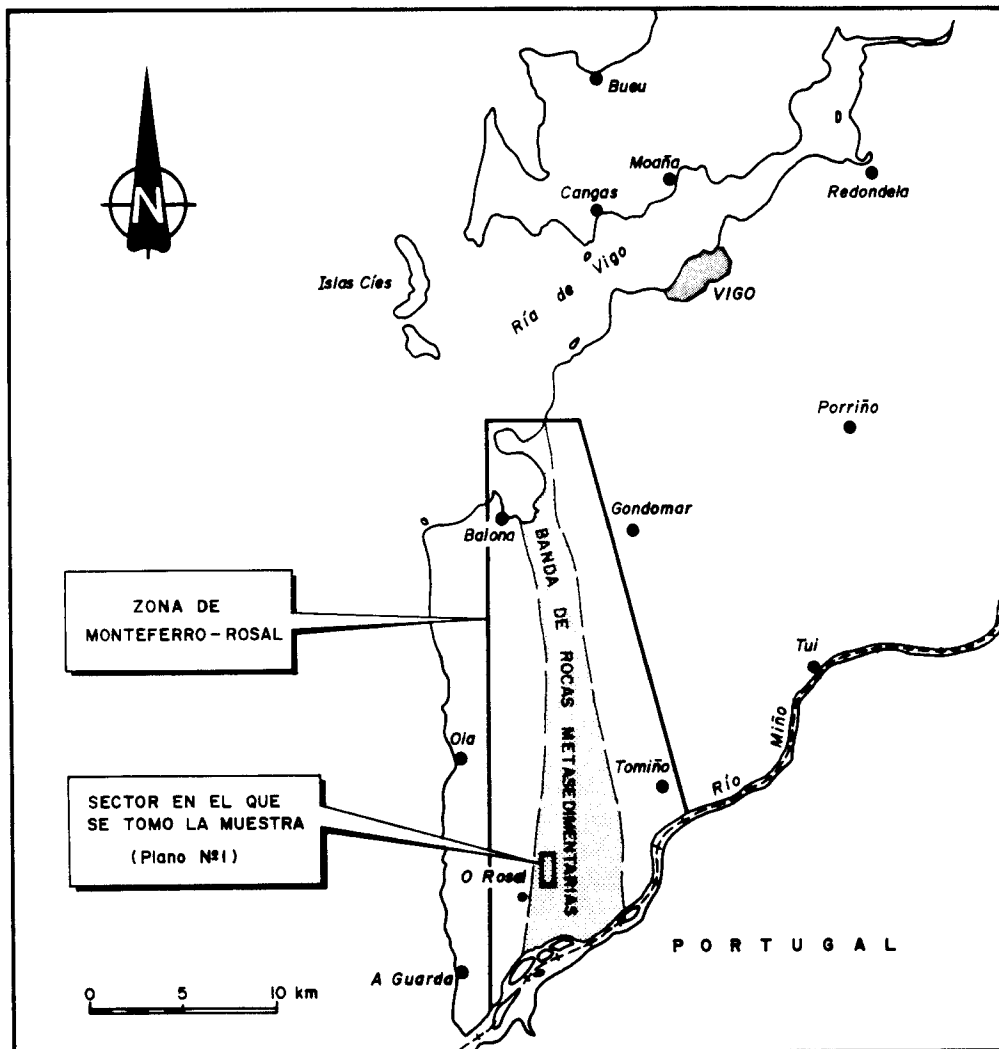


Fig. 1.1. Situación de la Zona de Monteferro-Rosal y del sector donde se tomó la muestra.

Dentro de este sector, se diferenciaron cuatro unidades litoestratigráficas a las que se denominó, de modo informal, unidades I, II, III y IV. Las edades que se les asignan, por correlación con litologías semejantes del NO de Portugal, están comprendidas entre el Cámbrico y el Silúrico.

La andalucita de tipo 3 aparece fundamentalmente en niveles de micaesquistos gris-oscuros situados en la base de la unidad IV. El tramo de mayor espesor (8-10 m) es el que

se encuentra justamente sobre el contacto con la unidad infrayacente (unidad III), pudiendo aparecer otros niveles más delgados (< 3 m) algunos m por encima del anterior.

Dichos niveles suelen contener entre un 10% y un 25% 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 encuentran orientados al azar según los planos de foliación, presentando frecuentemente fracturas perpendiculares a su dimensión máxima. (Ver fotos 1 y 2).

En el Anexo 1 se recoge una descripción microscópica de esta litología y de las andalucitas que contiene, junto con varias fotomicrografías.

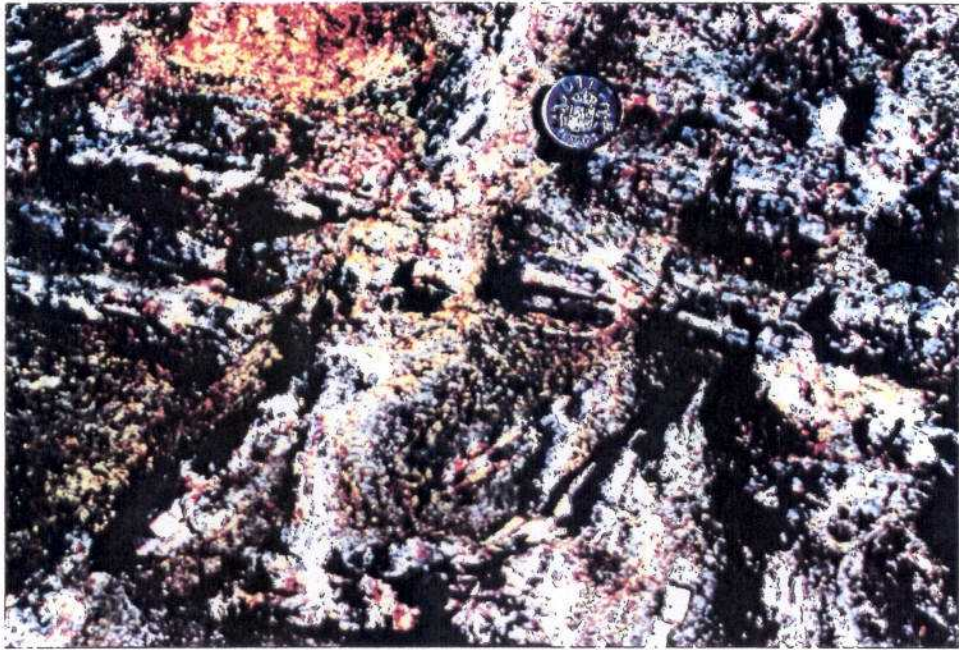
La estructura de la banda metasedimentaria de Monteferro-Rosal está definida por pliegues apretados a isoclinales de plano axial subvertical o ligeramente vergentes al O, que llevan asociada una foliación de plano axial, y que corresponden a la tercera fase de deformación hercínica regional (D_3). También pueden reconocerse algunas estructuras (pliegues isoclinales y foliaciones crenuladas por la D_3) que corresponderían probablemente a la primera fase de deformación (D_1); se trata habitualmente de estructuras menores, aunque también aparecen algunos pliegues de escala cartográfica.

El metamorfismo regional desarrollado en estas rocas alcanzó el grado medio en un estadio previo a la D_3 (paragénesis con estaurilita + granate + andalucita), y a él se sobreimpone un metamorfismo térmico sin- a post- D_3 producido por las intrusiones graníticas. Este segundo proceso metamórfico es el que ha generado las mineralizaciones de andalucita de tipo 3.

1.3. CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR EN EL QUE SE TOMO LA MUESTRA

En el Plano nº 1 (Anexo 6) se recoge la cartografía geológico-minera a escala 1:5.000 del sector en el que se ha tomado la muestra, situado al NE de O Rosal, junto con un corte geológico representativo. Como puede observarse, el nivel con andalucita de tipo 3 aparece formando dos pliegues en posición *facing down* (polaridad tectónica invertida) que son interpretados como pliegues de D_1 . La muestra se ha tomado precisamente en la zona de charnela de uno de estos pliegues, que presenta un notable engrosamiento de los niveles andalucíticos (hasta 50 m de espesor total), y que constituiría un punto favorable para la explotación.

Para tomar la muestra, se realizó una roza de 25 m de longitud en dirección perpendicular a la estratificación, utilizando un martillo neumático acoplado a una retroexcavadora. Posteriormente, se recogieron fragmentos de roca distribuidos homogéneamente a lo largo de toda la roza hasta completar un total de cerca de 100 kg.



Fotos 1 y 2.- Aspecto de las andalucitas (quasi-stolitas) de tipo 3.

2. OBJETIVOS

Los ensayos mineralúrgicos efectuados se seleccionaron a fin de tratar de alcanzar una serie de objetivos preliminares:

1. Trituración y molienda que minimice la formación de finos.
2. Procesos lo más simples posible, escalables industrialmente.
3. Obtener concentrados finales con leyes en Al_2O_3 , contenida en forma de andalucita, superiores al 55% e impurezas en Fe total lo más bajas posible, en cualquier caso inferiores al 1%.
4. Recuperaciones lo más elevadas posible, en cualquier caso superiores al 40% para cada clase granulométrica y calculadas sobre andalucita total, no sobre Al_2O_3 .
5. Disponer de la información adecuada para diseñar nuevos ensayos, bien en otra línea o como profundización de la comenzada.
6. Seleccionar un diagrama de flujo previo de tratamiento, adaptado a las características del material.

3. ESTUDIOS PRELIMINARES. ANALISIS DE LA INFORMACION DISPONIBLE

La información facilitada por PENEDOS, S.L. corresponde a estudios encargados a la firma británica Leeds Mineral Services Group, y comprende:

- Descripción microscópica de muestras (1989)
- Ensayos de separación magnética y líquidos densos (1990)
- Estudio microanalítico de inclusiones en andalucitas (1990)

De estos estudios e informes, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1. Composición de la roca: Cuarzo, moscovita, andalucita, biotita y accesorios. Los cristales de andalucita presentan frecuentes inclusiones de naturaleza variada: micas, ilmenita, cuarzo. Los microanálisis efectuados sobre granos de andalucita (tamaño -2000+425 μ , fracción no magnética de un ensayo de separación) indican la presencia de inclusiones de moscovita, biotita, clorita, cuarzo, monacita y un mineral alterado sin identificar, compuesto por óxidos de Fe-Al-P. Se presenta también sericitización según planos de exfoliación y recubriendo cristales; la moscovitización de la andalucita está muy poco desarrollada. La presencia de fracturas en la andalucita es importante.
2. Resultados de molienda: La muestra se trituró en dos etapas mediante machacadora de mandíbulas y remolienda en molino de cilindros lisos, obteniéndose un producto -5mm. Se desconoce la distribución granulométrica obtenida, al indicarse exclusivamente las distribuciones parciales de cada etapa.
3. Resultados de separación magnética: Por vía seca, separador de banda. Destaca que el porcentaje de producto no magnético, portador teórico de andalucita, aumenta con la disminución de granulometría, disminuyendo los valores de Al_2O_3 , notablemente para la fracción más fina, -425 μ , pero manteniéndose los valores de Fe_2O_3 entre el 3 y el 6%. La alúmina, oscila entre 35 y 41% para las clases -1700+850 μ y -850+425 μ . En cuanto a recuperaciones en peso oscilan entre el 40% y 45% para estos últimos tamaños y el 87% al 92% para el más fino.

Se ensayó también con un separador Eriez de imán permanente, analizándose exclusivamente Fe_2O_3 , apuntando los resultados obtenidos a una ligera mejora. Se emplearon, no obstante, granulometrías diferentes.

4. Resultados de separación magnética por vía húmeda: Efectuadas a 5.000 y 10.000 gauss sobre las tres clases granulométricas indicadas, se concluye para los concentra-

dos que las leyes alcanzadas en Al_2O_3 son inferiores, con mayor contenido en Fe_2O_3 (excepto para la muestra más fina), pero con porcentajes en peso más altos que por vía seca.

5. Resultados de separación por líquidos densos: Se empleó una densidad de corte de $2,9 \text{ g/cm}^3$, sobre muestras procedentes de los ensayos con el Separador Magnético Eriez. Se analizó Fe_2O_3 en densos y ligeros y Al_2O_3 solamente en los densos, alcanzándose leyes de 59,5% de Al_2O_3 para la clase -2000+425 μ y 56,3% de Al_2O_3 para la clase -5600+2000 μ .

Es de notar que con la información reflejada en el informe consultado, no es posible determinar recuperaciones ni distribuciones de andalucita, posiblemente por tratarse de ensayos de carácter puramente orientativo para conocer posibilidades de concentración final y niveles de impurezas.

4. ENSAYOS

4.1. METODOLOGIA

En primer lugar, se determinó la composición mineralógica de la muestra (ver Anexo 1: Estudio petrográfico).

A partir de la composición obtenida y las características de los minerales presentes, así como de estudios anteriores, se consideró conveniente orientar los ensayos hacia una molienda inicial con tamizados intermedios, empleando machacadora de mandíbulas y molino de cilindros lisos reglado para un coeficiente de reducción bajo, con el objeto de generar la menor cantidad posible de finos (tamaños inferiores a 100 μ).

El producto obtenido se clasificó en seco, desmuestrándose convenientemente todas las clases resultantes y el todo-uno para efectuar análisis químico por FRX para SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MnO , K_2O , MgO y Na_2O , determinándose también la pérdida por calcinación. Paralelamente, se determinó por DRX la composición mineralógica semicuantitativa de cada producto obtenido.

A fin de comprobar la precisión real, se confrontaron los resultados analíticos del todo-uno con lo obtenido por reconstrucción a partir de los análisis de las diferentes clases granulométricas, observándose una armonía de resultados, ya que las desviaciones oscilan (en valor absoluto) entre el 0,002% del CaO y el 1,55% del Al_2O_3 .

A continuación, las clases granulométricas comprendidas entre 2000 y 106 μ , se sometieron a separación magnética en lecho fluido. No se consideraron los tamaños -6250+2000 μ por ser excesivamente grueso para separación magnética e insuficiente liberación, ni el tamaño -106 μ , por el bajo contenido en andalucita y el escaso interés industrial.

La fracción no magnética obtenida se sometió a separación en líquidos densos ($\delta = 2,82 \text{ g/cm}^3$), resultando un concentrado denso compuesto fundamentalmente por andalucita, y un estéril ligero en el que domina el cuarzo.

Se han analizado sistemáticamente todas las fracciones obtenidas, calculándose en todos los casos el balance de *andalucita* referido a cabeza de ensayo, considerando como tal la clase granulométrica -2000+106 μ .

En la figura 1 se sintetiza el proceso seguido.

En cuanto a los cálculos de balances metalúrgicos, hay que resaltar que no se ha procedido a un ajuste de conjunto, esencialmente por los siguientes motivos:

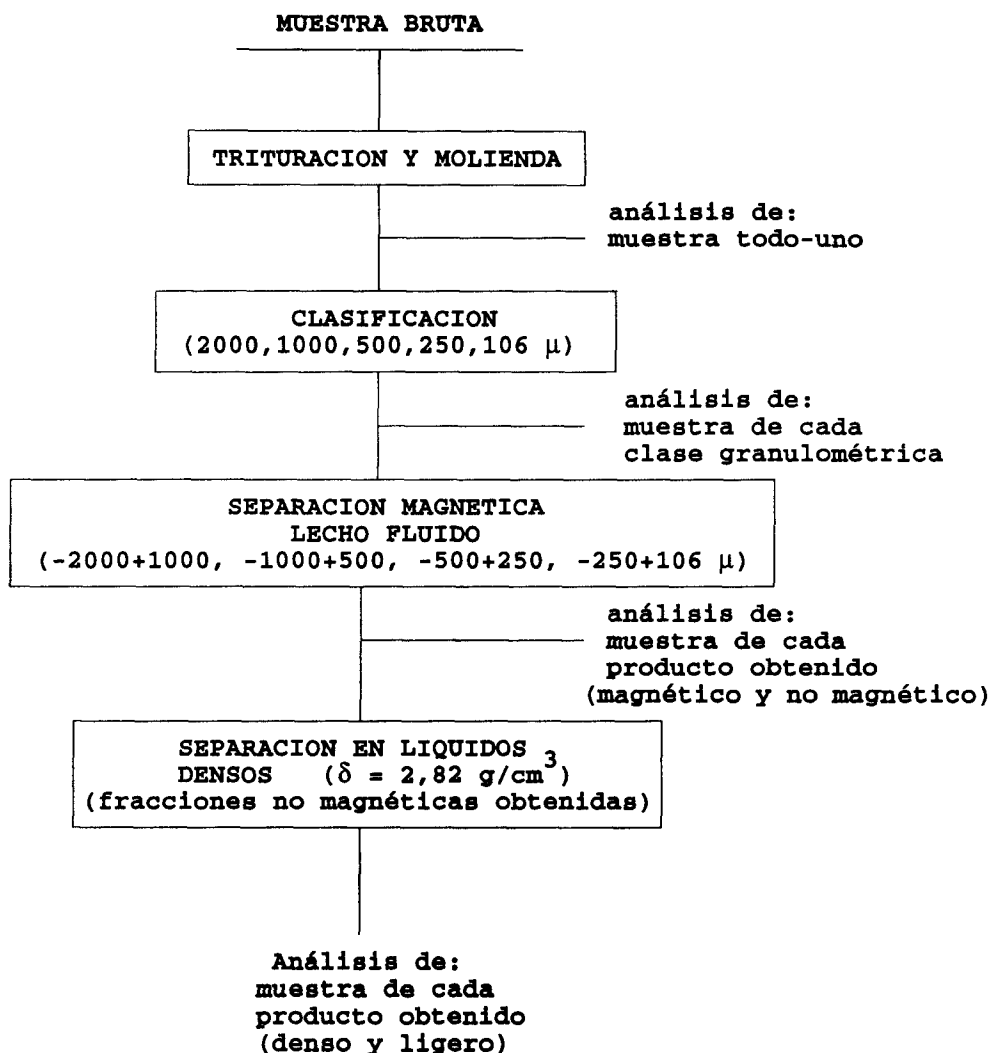


Fig. 4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ESTUDIO REALIZADO

1. Se desconocen los márgenes de error analíticos de los elementos valorados.
2. No se han observado desviaciones dignas de consideración entre los valores de análisis y los reconstruidos para cada clase granulométrica, tanto a partir de productos en la etapa de líquidos densos como a partir de productos en la etapa de separación magnética.

En último término, el ajuste tendría que hacer coincidir los *nuevos valores ajustados* de cada producto, con los obtenidos a partir del cálculo en cualquier etapa (líquidos densos, separación magnética, clasificación granulométrica).

Se ha optado por referir los balances de cada ensayo de separación a valores de *alimentación reconstruida al ensayo o etapa*. De lo contrario, surgirán divergencias que dificultarán notablemente la interpretación de los resultados.

Un problema que se plantea a la hora del cálculo del balance de andalucita es determinar el contenido real en éste mineral, y no llevar el cálculo sobre valores de Al_2O_3 , que falsearían los resultados por formar parte este compuesto también de las micas.

Para la determinación de los contenidos en andalucita se ha partido de la relación teórica con los porcentajes de Al_2O_3 y K_2O de la muestra, asumiendo que el Al_2O_3 se encuentra únicamente en la andalucita y en las micas, y que el K_2O corresponde exclusivamente a las micas (1).

El % de Al_2O_3 que corresponde a la andalucita será igual al % de Al_2O_3 total menos el % de Al_2O_3 que corresponde a las micas. Para simplificar el cálculo de este último, puede considerarse que la única mica presente es la moscovita, cuya relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (3:1) es mayor que la de la biotita (3:2 a 1:1); de modo que los contenidos de andalucita que se obtengan tendrían un cierto error por defecto.

Representando por:

A = % de Al_2O_3 total

A_m = % de Al_2O_3 correspondiente a la moscovita

A_a = % de Al_2O_3 correspondiente a la andalucita

K = % de K_2O total

y teniendo en cuenta los correspondientes pesos moleculares, resulta:

$$\frac{A_m}{K} = \frac{3 \cdot 101,959}{94,203} ; \quad A_m = 3,247 K$$

(1) Téngase en cuenta la composición de la roca: cuarzo, moscovita, biotita y andalucita como minerales esenciales. Para composiciones diferentes, es preciso determinar una nueva correlación.

de forma que:

$$A_a = A - A_m = A - 3,247 K$$

y, finalmente:

$$\frac{A_a}{\% \text{ Andal.}} = \frac{101,959}{162,043} ; \quad \% \text{ Andal.} = 1,589 A_a = 1,589 (A - 3,247 K)$$

resultando, pues, la relación siguiente:

$$\% \text{ Andalucita} = 1,6 Al_2O_3 \text{ total} - 3,3 K_2O \text{ total}$$

que se ha empleado como elemento de cálculo en los diferentes balances efectuados (1).

4.2. MOLIENDA

Ya se indicó que la totalidad de la muestra disponible se molió evitando en la medida de lo posible la formación de finos, al tratarse éstos de un producto que requiere un tratamiento más complejo (tanto por granulometría como por composición) y por tener la andalucita -100 μ un valor comercial inferior.

Considerando esto, se optó por recurrir a un proceso simple en dos etapas mediante empleo de equipos que generan pocos finos. Se emplearon machacadora de mandíbulas y molino de cilindros lisos, con reglajes amplios, y en circuito cerrado con criba de malla cuadrada en seco.

Para la etapa de machaqueo, se trituró la muestra completa, tamizando a 6350 μ y repasando el grueso resultante, repitiendo esta operación tres veces, con reglaje de

(1) Se ha obtenido una correlación satisfactoria entre los contenidos calculados por éste método y los deducidos por DRX semicuantitativo. Respecto a la mineralometría, se presentan algunos valores muy desviados, atribuibles a error en mineralometría, posiblemente asociados a la limitada representatividad del número de granos contabilizados (en 4 de 14 muestras). En el anexo 4 se incluye un cuadro comparativo de los resultados obtenidos por diferentes métodos (mineralometría, cálculo y DRX).

machacadora 15 mm y operando en todo momento a cámara llena, para favorecer la fricción entre fragmentos con la intención de facilitar la liberación micas-andalucita.

El grueso final de machacadora se pasó por molino de cilindros en circuito cerrado con el tamiz de 6350 μ , reglando para un coeficiente de reducción de 2, hasta lograr un pasante 100%.

Finalmente, se homogeneizaron las dos fracciones inferiores a 6350 μ , obtenidas de trituración y molienda respectivamente.

En síntesis, el esquema seguido fué el representado en la figura 4.2.

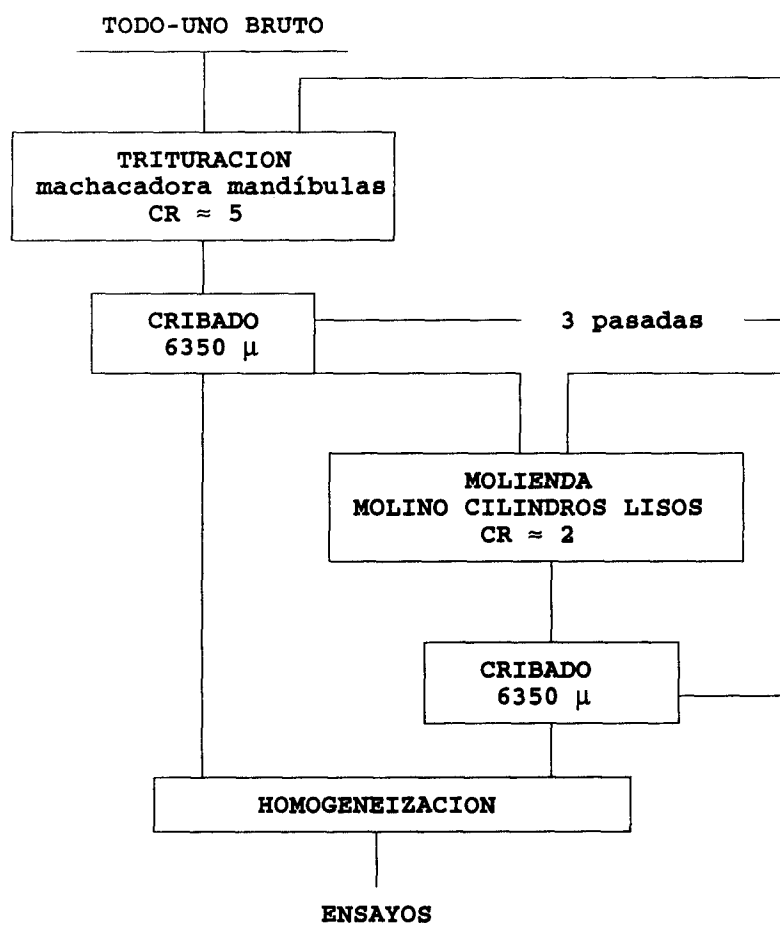


Fig. 4.2. Proceso de molienda

La distribución granulométrica y composición significativa del producto resultante, es la siguiente:

CUADRO 1.- RECONSTRUCCION TODO-UNO Y CABEZA

CLASES μ	TODO-UNO							CABEZA ENSAYOS		
	Peso %	Al ₂ O ₃ %	K ₂ O %	Fe ₂ O ₃		Andalucita		Peso %	Distribuciones	
				%	Distr. %	%	Distr. %		Andaluc. %	Fe ₂ O ₃ %
-6350+4750	11,56	30,24	3,92	11,67	11,99	27,69	13,77	-	-	-
-4750+2000	36,04	31,82	3,37	10,89	35,16	33,11	51,32	-	-	-
-2000+1000	16,54	24,98	4,14	12,67	18,63	18,11	12,88	40,10	43,40	39,61
-1000+500	13,39	24,40	4,36	13,72	16,32	16,05	9,24	32,46	31,14	34,73
-500+250	5,21	24,52	4,02	12,78	5,92	18,00	4,03	12,63	13,58	12,59
-250+106	6,11	21,03	3,83	11,32	6,14	13,42	3,53	14,81	11,88	13,07
-106	11,15	17,04	3,11	5,90	5,84	10,85	5,20	-	-	-
Tu. Analizado	-	25,28	3,99	12,03	-	19,39	-	-	-	-
Tu. Calculado	-	26,83	3,73	11,26	100,0	23,25	100,00	100,00	16,73	12,82

Tu = Todo-uno

De la observación de este cuadro se deduce que:

1. Los componentes significativos, andalucita y Fe₂O₃, siguen una distribución en líneas generales próxima a la granulométrica, con dos excepciones destacables:
 - Claro enriquecimiento en andalucita en las dos fracciones más gruesas, con respecto al contenido del total de la muestra.
 - El contenido en Fe₂O₃ de la fracción más fina, es notablemente inferior al de la muestra total (aproximadamente la mitad).

2. **La mitad de la andalucita** presente en la muestra total, se encuentra en la clase $-4750+2000 \mu$.
3. Los valores analíticos son homogéneos, con desviaciones admisibles, y, por tanto, válidos.

En el cuadro 2 se incluyen también las distribuciones y composiciones calculadas para la clase $-2000+106 \mu$, que es la considerada como cabeza de ensayos, por observarse que en las granulometrías superiores la andalucita no se encuentra debidamente liberada de elementos fundamentalmente micáceos que la recubren, que constituirían una serie de interferencias a los procesos de concentración y purificación.

CUADRO 2.- DISTRIBUCION DE ELEMENTOS TODO-UNO

CLASES μ	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		CaO		TiO ₂	
	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.
-6350+4750	46,09	10,65	30,24	13,03	11,67	11,98	0,02	14,58	1,12	11,97
-4750+2000	46,29	33,36	31,82	42,74	10,89	35,16	0,01	34,55	1,03	34,21
-2000+1000	49,03	16,22	24,98	15,40	12,67	18,62	0,01	15,02	1,23	18,71
-1000+500	47,60	12,74	24,41	12,18	13,72	16,32	0,01	11,48	1,30	16,07
-500+250	49,33	5,14	24,52	4,76	12,78	5,91	0,01	4,47	1,22	5,86
-250+106	55,55	6,79	21,03	4,79	11,32	6,14	0,01	5,24	1,08	6,07
-106	67,71	15,10	17,04	7,08	5,89	5,84	0,02	14,63	0,69	7,09

CLASES μ	MnO		K ₂ O		MgO		Na ₂ O		PPC	
	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.	Uds.	dbc.
-6350+4750	0,06	11,70	3,92	12,15	2,40	12,32	0,52	12,61	3,85	10,51
-4750+2000	0,06	34,23	3,37	32,60	2,24	35,79	0,39	29,22	3,80	32,36
-2000+1000	0,07	19,06	4,14	18,37	2,57	18,84	0,52	18,04	4,65	18,17
-1000+500	0,08	16,89	4,35	15,65	2,80	16,62	0,48	13,46	5,11	16,16
-500+250	0,07	5,92	4,02	5,62	2,48	5,73	0,47	5,10	4,97	6,11
-250+106	0,06	6,28	3,83	6,27	2,27	6,16	0,59	7,51	4,15	5,99
-106	0,03	5,90	3,10	9,30	0,91	4,51	0,60	14,03	4,05	10,67

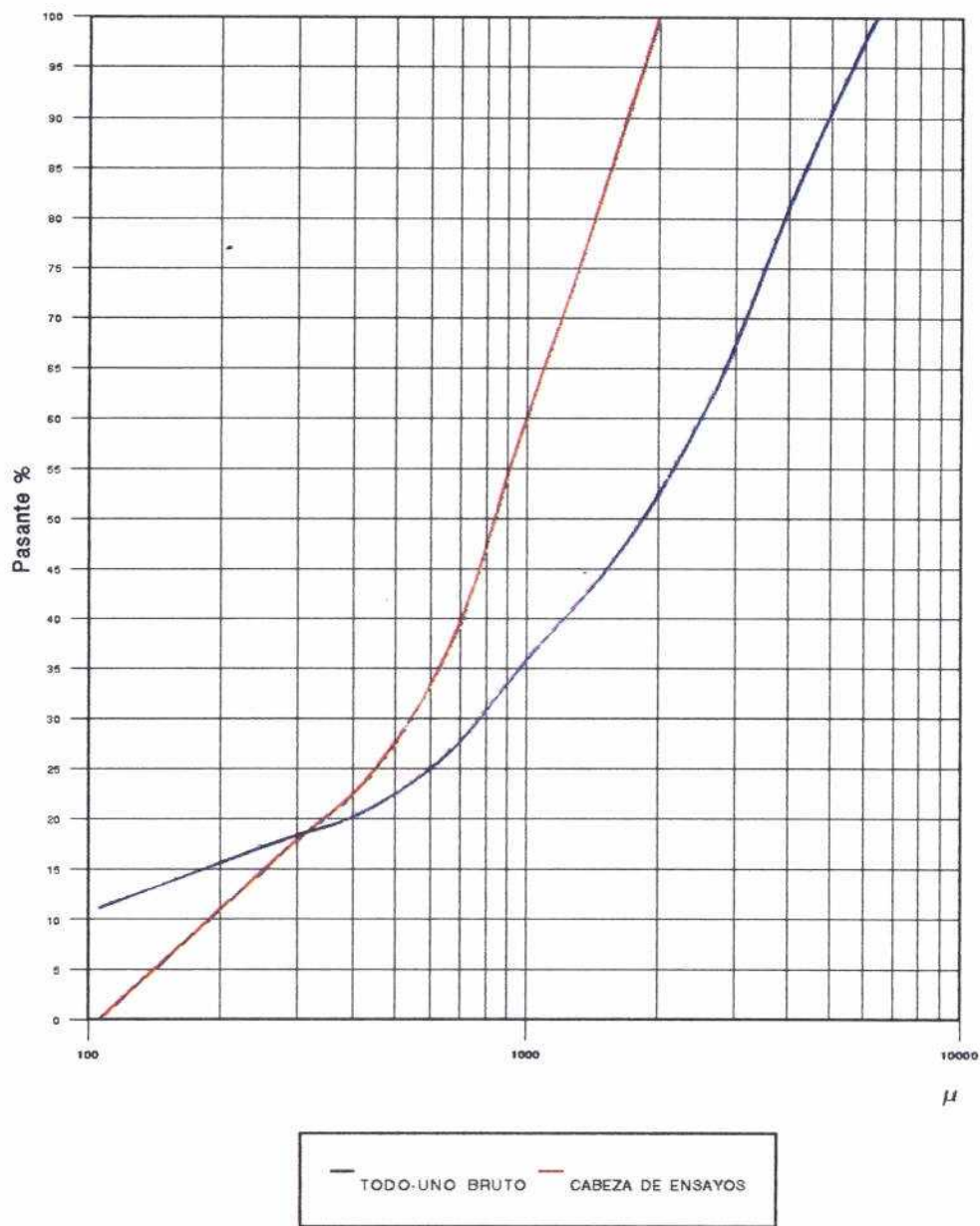
- Valores expresados en %
- Análisis: por FRX (Anexo 1)
- Intervalos confianza: n/d
- Laboratorio: ITGE

Uds. = Unidades
dbc. = distribución

Fig. 4.3.

DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

TODO UNO BRUTO Y CABEZA DE ENSAYO



4.3. SEPARACION MAGNETICA EN LECHO FLUIDO

Todas las fracciones que componen la "cabeza de ensayos" se sometieron a separación magnética en lecho fluido por vía seca, a fin de eliminar la mayor cantidad posible de elementos micáceos y compuestos de hierro en la fracción magnética, obteniendo un producto no magnético de composición esencialmente binaria cuarzo-andalucita.

Los resultados obtenidos en estos ensayos se muestran en los cuadros 3-1 a 3-4, para cada clase granulométrica que integra la "cabeza de ensayos", y en las curvas de la figura 4.4.

CUADRO 3.- RESULTADOS DE SEPARACION MAGNETICA

3-1 CLASE -2000+1000 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
MAGNETICO	87,55	22,38	4,92	17,45	9,84	50,71	98,67
NO MAGNETICO	12,45	45,82	1,15	1,65	67,25	49,29	1,33
CLASE RECONSTRUIDA				15,48	16,99		

3-2 CLASE -1000+500 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
MAGNETICO	94,53	26,23	4,66	14,77	17,38	84,80	99,37
NO MAGNETICO	5,47	39,85	1,89	1,63	53,85	15,20	0,63
CLASE RECONSTRUIDA				14,05	19,38		

3-3 CLASE -500+250 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
MAGNETICO	86,69	24,10	5,07	15,58	11,76	62,54	99,12
NO MAGNETICO	13,31	31,81	0,95	0,91	45,87	37,46	0,88
CLASE RECONSTRUIDA				13,63	16,30		

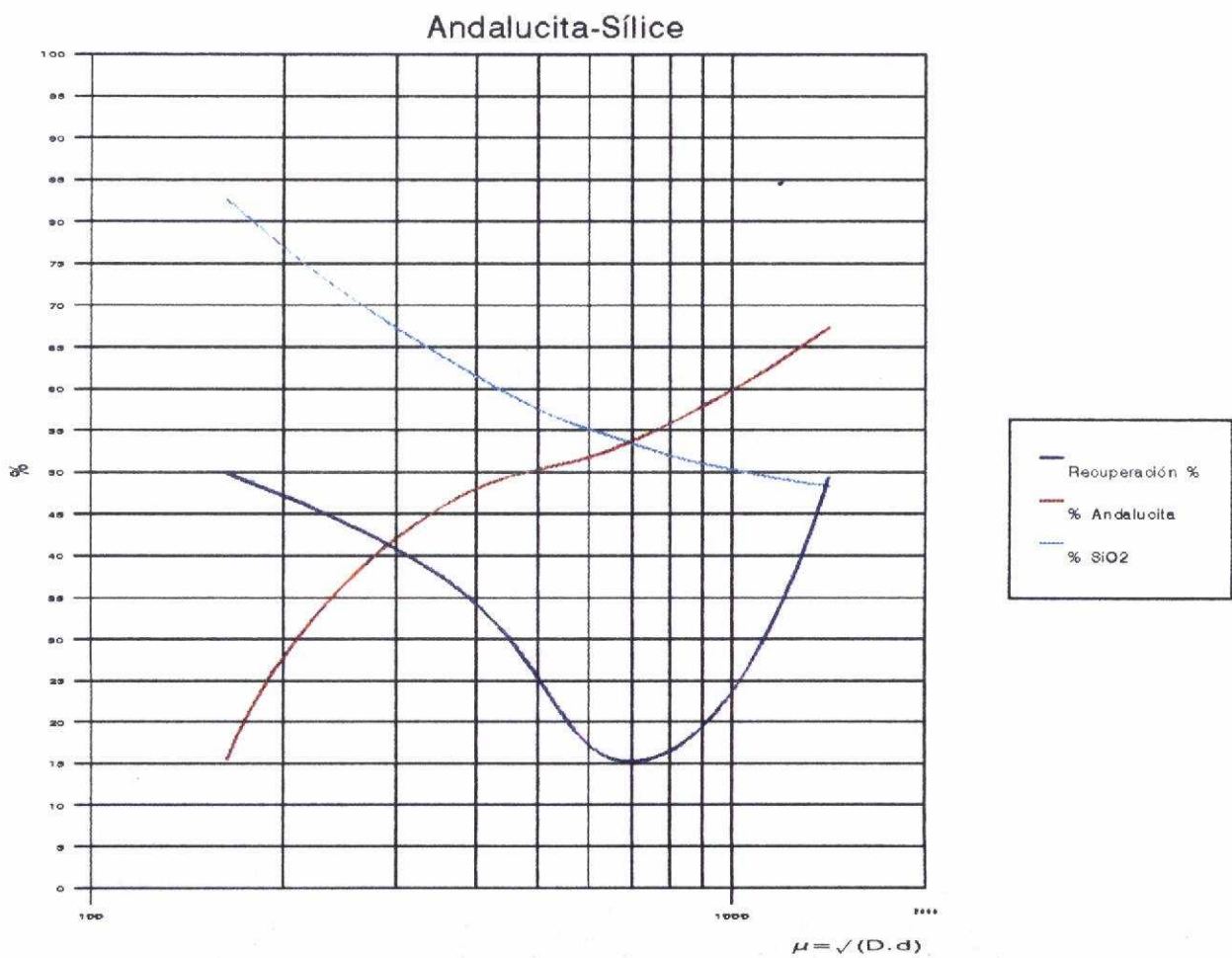
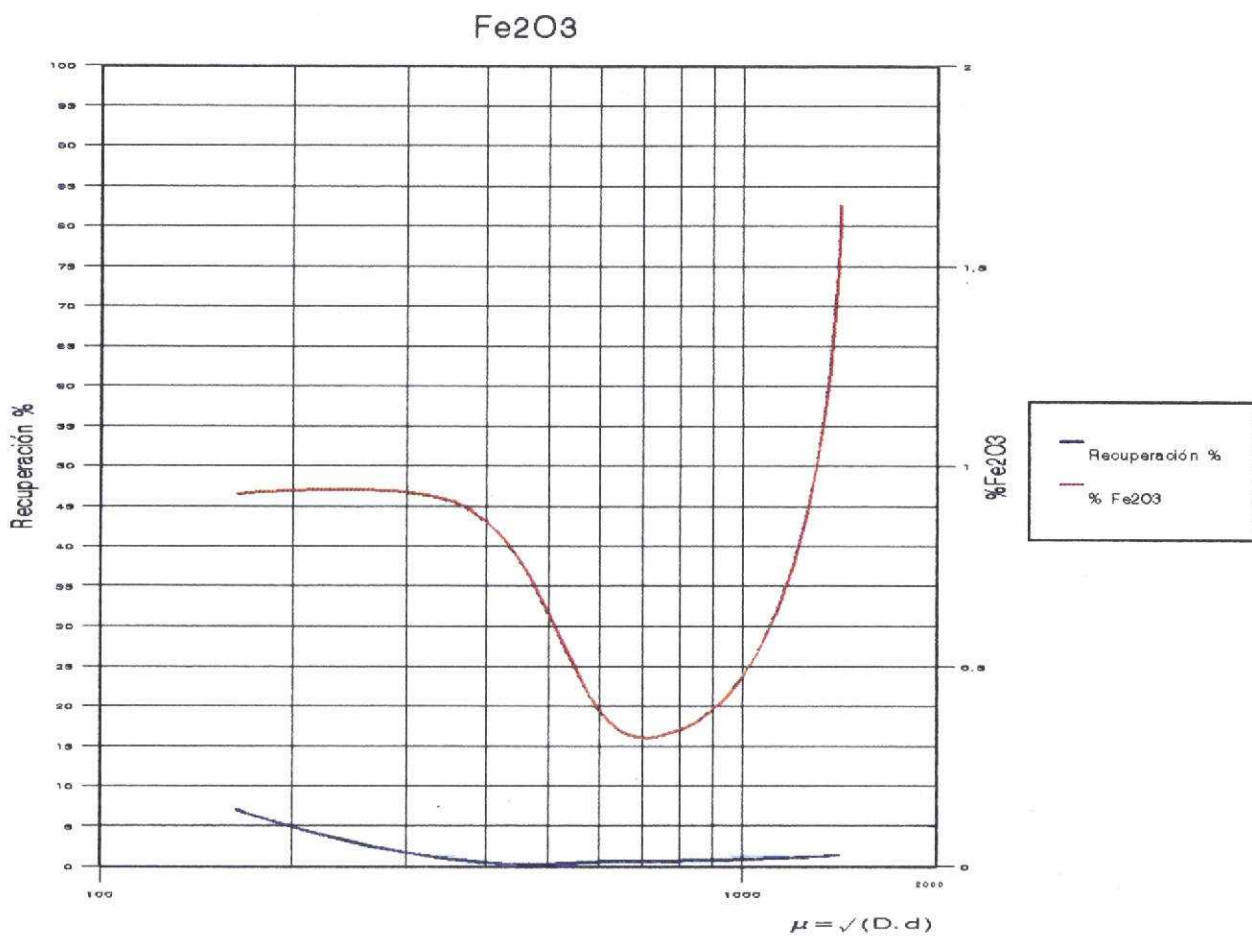
3-4 CLASE -250+160 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
MAGNETICO	51,03	21,73	3,77	11,89	14,87	50,19	93,00
NO MAGNETICO	48,97	13,11	1,06	0,93	15,39	49,81	7,00
CLASE RECONSTRUIDA				6,52	15,12		

De estos ensayos se deduce que:

1. La eliminación de Fe es óptima (referida al producto portador, esto es, el magnético, y en términos absolutos), pero desciende con la granulometría.
2. La recuperación de andalucita es insuficiente, incrementándose ligeramente en las fracciones de mayor y menor granulometría.
3. La ley en andalucita disminuye con la granulometría.

Se intuye una posible asociación de andalucita y minerales magnéticos (¿inclusiones?, ¿liberación insuficiente?), que provoca las bajas recuperaciones logradas, las cuales, no deben atribuirse a imperfecciones del proceso, a la vista de las elevadas recuperaciones de Fe en el magnético.

Fig. 4.4. RESULTADOS DE SEPARACION MAGNETICA CONCENTRADO



La disminución de la ley en andalucita con el tamaño de partícula puede interpretarse como consecuencia de dos factores:

1. Menor contenido en andalucita en el producto de entrada.
2. Aumento de la liberación de cuarzo, que pasa al no magnético impurificándolo.

Esta disminución se hace brusca en la clase -250+160 μ , coincidiendo con un incremento notable en la sílice total contenida.

Para el concentrado combinado, compuesto por las granulometrías ensayadas que conforman la cabeza de ensayo, se han alcanzado los valores expresados en el cuadro nº 4.

CUADRO 4.- CONCENTRADO NO MAGNETICO COMBINADO -2000+106 μ

CLASE μ	% PESO			ANDALUCITA		Fe ₂ O ₃	
	CLASE	CABEZA ENSAYO	CONC.	%	Dist. %	%	Dist. %
-2000+1000	12,45	4,99	31,78	67,25	54,11	1,65	42,42
-1000+500	5,47	1,78	11,34	53,85	15,46	1,63	14,95
-500+250	13,31	1,68	10,70	45,87	12,43	0,91	7,88
-250+106	48,97	7,25	46,18	15,39	18,00	0,93	34,75
Total Concentrado		15,70	100,00	39,49	100,00	1,24	100,00

Recuperación andalucita en concentrado: 35,63% (1).

Es de notar que en la clase -250+100 μ se reduce considerablemente la ley en andalucita del concentrado, al constituir cerca del 50% en peso del mismo con una ley de andalucita de un tercio de la correspondiente a los demás tamaños.

(1) Referida a contenido en andalucita en **cabeza de ensayo**, calculada a partir de ensayos de separación magnética.

Prescindiendo de esta clase granulométrica, la ley se eleva al 60,18% de andalucita contenida, pero con una merma de 6 puntos en la recuperación, que queda en 29,22%

En cuanto al Fe_2O_3 , se mantiene en niveles que pueden considerarse elevados, pese a las bajísimas "recuperaciones" en el concentrado.

4.4. LIQUIDOS DENSOS

Las cuatro fracciones no magnéticas procedentes de los ensayos de separación magnética en lecho fluido, se sometieron a separación en bromoformo, con una densidad de corte de 2,82 g/cm³.

Tanto las fracciones ligeras como las densas obtenidas se analizaron por FRX a fin de evaluar contenidos y distribuciones de andalucita y Fe_2O_3 como elementos principales, además de las restantes determinaciones.

Los resultados obtenidos se reflejan en los cuadros 5-1 a 5-4, y en la figura 4.5.

CUADRO 5.- RESULTADOS DE SEPARACION EN LIQUIDOS DENSOS

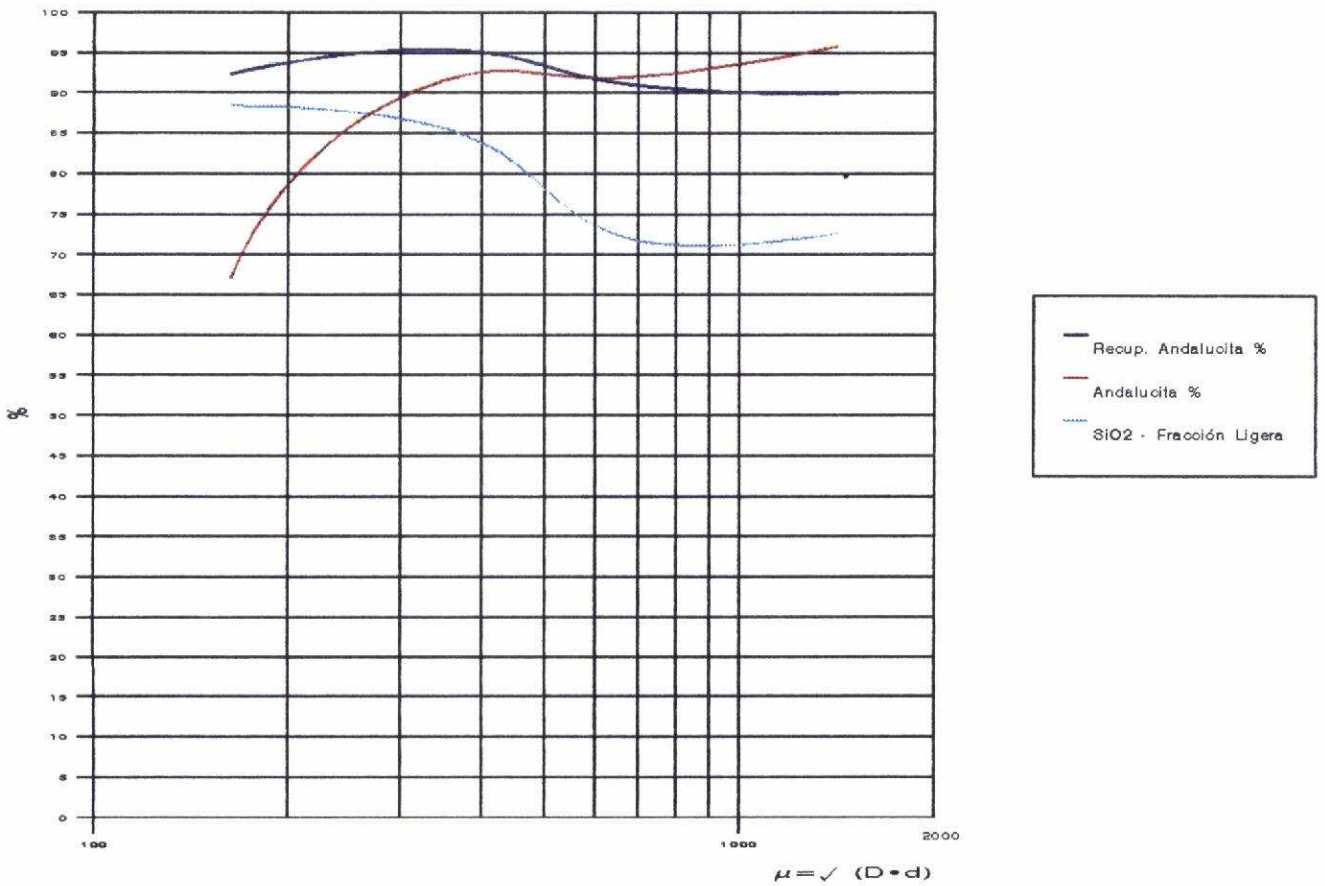
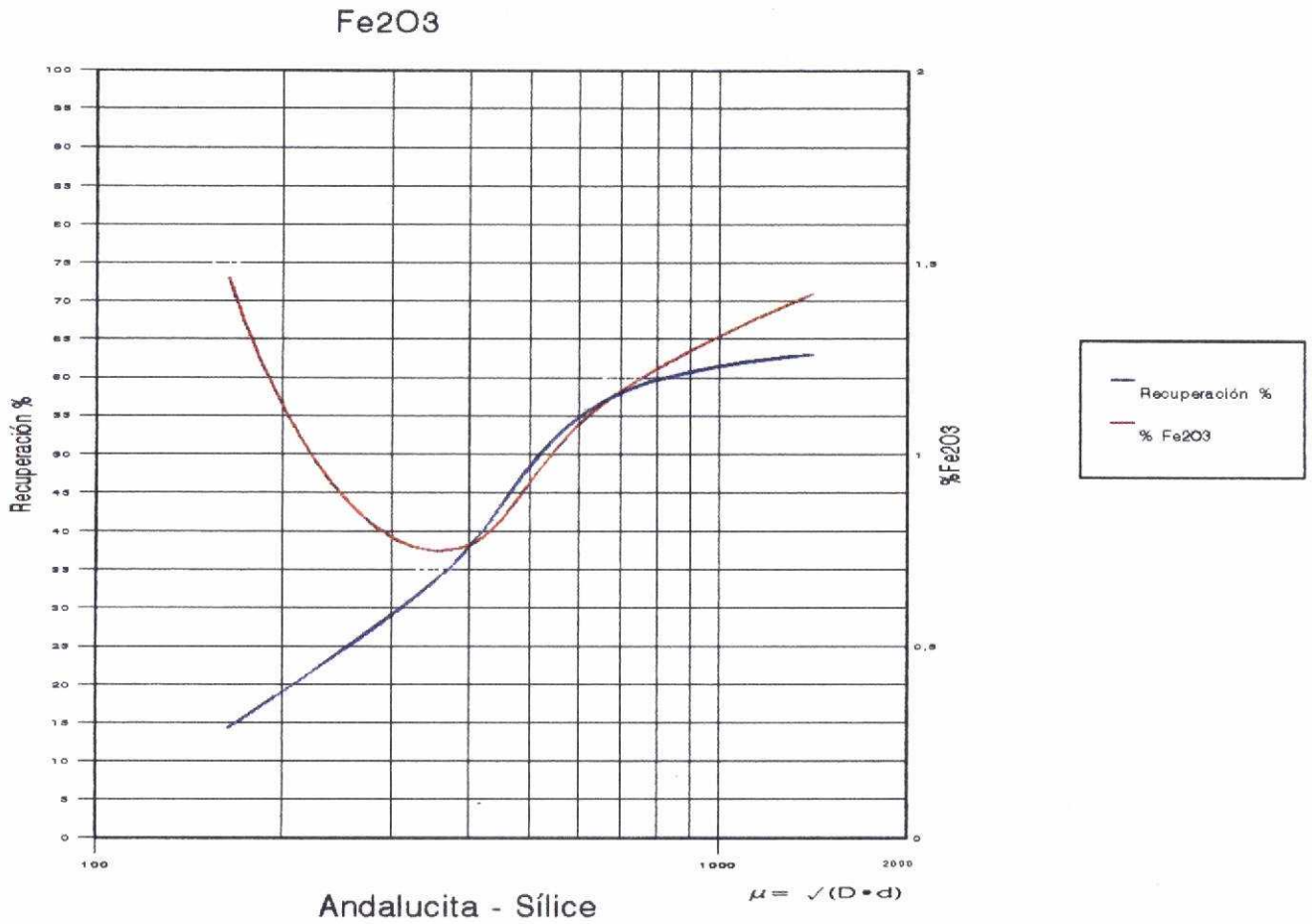
5-1 CLASE -2000+1000 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃ Dist.
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	
LIGERO	28,27	17,50	3,41	2,12	9,98	4,19	37,01
DENSO	71,73	57,18	0,29	1,42	89,93	95,81	62,99
NO MAGNETICO RECONSTRUIDO				1,62	67,33		

5-2 CLASE -1000+500 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
LIGERO	46,80	18,04	3,77	1,85	8,96	7,99	58,18
DENSO	53,20	57,66	0,27	1,17	90,80	92,01	41,82
NO MAGNETICO RECONSTRUIDO				1,485	52,49		

5-3 CLASE -500+250 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
LIGERO	60,33	9,38	1,75	0,98	5,75	8,40	66,43
DENSO	39,67	58,83	0,08	0,75	95,31	91,60	33,67
NO MAGNETICO RECONSTRUIDO				0,89	41,27		

5-4 CLASE -250+106 μ		ANALISIS, %			ANDALUCITA, %		Fe ₂ O ₃
PRODUCTO	PESO %	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Calc.	Dist.	Dist.
LIGERO	89,97	7,49	1,31	0,98	5,06	32,98	85,69
DENSO	10,03	58,74	0,32	1,46	92,27	67,02	14,31
NO MAGNETICO RECONSTRUIDO				1,03	13,81		

Fig. 4.5. RESULTADOS DE SEPARACION EN LIQUIDOS DENSOS DE CONCENTRADOS NO MAGNETICOS



A la vista de estos resultados, se deduce que:

1. La eliminación del Fe mejora progresivamente con la disminución de granulometría, indicando que los minerales portadores son de baja densidad y liberación fina.
2. La recuperación de andalucita disminuye con la granulometría, fenómeno que más bien parece asociado a la imperfección del método para tamaños finos.
3. Las leyes en andalucita no sufren variaciones notables, no siendo correlacionables con la granulometría.
4. Los contenidos en cuarzo en los distintos productos de alimentación, aumentan fuertemente en las granulometrías más finas, según se comprueba con los datos analíticos de sílice de las distintas fracciones ligeras obtenidas.

Para el Concentrado Combinado, se han alcanzado los siguientes resultados:

CUADRO 6.- CONCENTRADO FINAL COMBINADO, -2000+106 μ

CLASE μ	% PESO			ANDALUCITA		Fe ₂ O ₃	
	CLASE	CABEZA ENSAYO	CONCENT.	%	DIST.	%	DIST.
-2000+1000	8,93	3,58	60,47	95,81	61,17	1,424	65,62
-1000+500	2,91	0,94	15,88	92,01	15,42	1,168	14,14
-500+250	5,28	0,67	11,32	95,31	11,39	0,753	6,50
-250+106	4,90	0,73	12,33	92,27	12,02	1,462	13,74
Total Concentrado:		5,92	100,00	94,71	100,00	1,312	100,00

Recuperación de andalucita en Concentrado	32,61%
Ley Al ₂ O ₃ en Concentrado	57,75%

Las recuperaciones parciales alcanzadas son muy superiores a las correspondientes a separación magnética, y muy favorables, obteniéndose además una sustancial elevación de leyes en Al_2O_3 y andalucita.

Por contra, los contenidos en Fe_2O_3 , se mantienen en un nivel excesivo sin mejora respecto al producto de entrada (concentrado no magnético, ver cuadro nº 4).

Se ha realizado un estudio de microsonda con varios granos de andalucita del concentrado (ver Anexo 5) para tratar de detectar las causas del alto contenido en Fe. Se identificaron inclusiones de ilmenita, biotita y cuarzo (tamaños de 20-50 μ), y de xenotima y apatito (tamaño < 3 μ); aparte de esto, se observaron grandes granos de micas (moscovita-sericita y biotita, con tamaños > 100 μ) adheridos a la superficie de la andalucita.

5. RESULTADOS

Considerando los concentrados brutos combinados correspondientes a las etapas de separación magnética y por Líquidos Densos, se han alcanzado los siguientes resultados globales, para cada etapa y para cabeza de ensayo.

* <u>SEPARACION MAGNETICA: CONCENTRADO</u>	<u>ETAPA</u>	<u>CABEZA ENSAYO</u>
• Ley en andalucita %	39,49	
• Ley en alúmina (Al ₂ O ₃ total) %	36,92	
• Recuperación de andalucita %	35,63	35,63
• Ratio de enriquecimiento andalucita	2,30:1	2,30:1
• Ratio de concentración	6,45:1	6,45:1
• Fe ₂ O ₃ %	1,24	

* LIQUIDOS DENSOS:

• Ley en andalucita %	94,71	
• Ley en alúmina (Al ₂ O ₃ total) %	57,75	
• Recuperación de andalucita %	91,52	32,61
• Ratio de enriquecimiento andalucita	2,40:1	5,52:1
• Ratio de concentración	2,65:1	17,06:1
• Fe ₂ O ₃ %	1,31	

En el apartado siguiente, así como en el Anexo 4, se desarrollan aspectos derivados tanto de los resultados expuestos como de los valores analíticos indicados y de cálculo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La muestra estudiada, con una composición básica moscovita-cuarzo-andalucita, en la que la andalucita constituye del orden de 1/5 en peso del total, se ha ensayado persiguiendo el objetivo de obtener concentrados comerciales de andalucita, para lo cual se siguieron procesos de concentración magnética y por líquidos densos.

Se han alcanzado leyes de concentrado final interesantes, pero con recuperación total baja y unos contenidos en hierro importantes en todas las fracciones, que devalúan el concentrado obtenido.

Este elevado nivel de Fe no parece susceptible de ser disminuído recurriendo a procesos de concentración físicos sobre las granulometrías consideradas; se ha constatado la presencia de minerales portadores de Fe incluídos en los granos de andalucita y adheridos a ellos.

Para el esquema de proceso seguido, la etapa decisiva en cuanto a recuperación de andalucita es la separación magnética. Al no considerarse en el plan inicial de estudio la posibilidad de ensayo con etapas invertidas de concentración respecto al orden seguido (esto es, líquidos densos en cabeza), se desconoce el comportamiento del material estudiado en un proceso con separación por gravedad en cabeza: Las recuperaciones, leyes y contenido en impurezas (Fe), lógicamente deberían seguir tendencias diferentes a las obtenidas, motivadas, en principio, por cambios en las características composicionales de los productos alimentados a cada etapa, y por las distintas características de separación de cada proceso.

No obstante, puede afirmarse que el proceso seleccionado, en cuanto a métodos de tratamiento, sin considerar secuencia, es adecuado a las características de la muestra.

Existe otro punto determinante: el tratamiento adecuado de las granulometrías gruesas no ensayadas. Dichos tamaños aportan (ver cuadro nº 1) el 65% de la andalucita contenida en la muestra bruta, y con las leyes más elevadas.

El problema de estos tamaños reside en una liberación que puede ser insuficiente para los procesos seleccionados, y en ser excesivamente gruesos para separación magnética si se requiere una adecuada eliminación de Fe y micas, fundamentalmente. Esto supone un condicionante de importancia, máxime al considerar que los concentrados de andalucita gruesa son los de precio más elevado.

Para los tamaños finos (las dos fracciones inferiores a 250 μ), la respuesta al tratamiento es satisfactoria en la fracción -250+106 μ , desconociéndose el comportamiento de los finos -106 μ . No obstante, esta última fracción puede ser despreciada por bajo precio, bajo contenido

en andalucita y complicar notablemente el hipotético tratamiento industrial. De hecho, la práctica más extendida es descartar directamente tamaños inferiores a 500 μ .

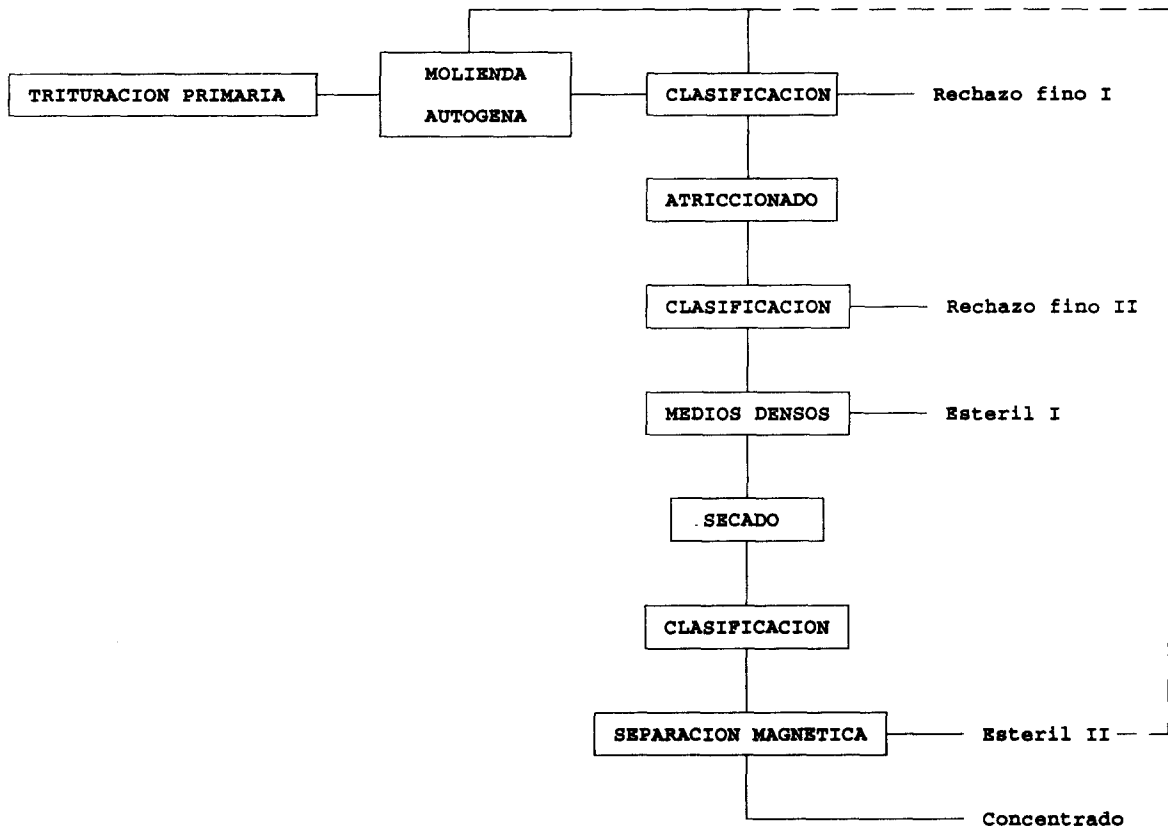
6.2. RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES SOBRE EL Fe EN CONCENTRADO

De interesar la profundización en el estudio del comportamiento mineralúrgico del material estudiado, se recomiendan los siguientes ensayos, ampliando la gama granulométrica:

1. Tratamiento por líquidos densos en cabeza, determinando las curvas de rendimiento (por clases granulométricas) para distintas densidades de corte.
2. Ensayos en ciclón de Medios Densos.
3. Ensayos de atricción de los tamaños gruesos (+2000 μ), al objeto de comprobar si por éste método se eliminan los componentes micáceos por desgaste diferencial.
4. Evaluar remolienda de concentrados gruesos.
5. Profundizar en el estudio de molienda a fin de minimizar la formación de finos, considerando como tales los tamaños inferiores a 500 μ .
6. Completar los estudios encaminados a la eliminación de Fe; determinar con precisión a qué especies minerales se asocia y características de éstas. (granulometría, etc.)

Estos seis puntos, se orientan a evaluar las posibilidades de un proceso que incluye molienda autógena o semiautógena, atricción, separación en medios densos y magnética, sin despreciar, *a priori*, la posible aplicación de otros procesos para la eliminación del Fe contenido en los concentrados.

Un posible diagrama de flujo del proceso a seguir, que debe ser considerado, es el siguiente:



Este proceso debe adaptarse adecuadamente a las características del material a estudio, mediante los ensayos indicados y desarrollo en detalle del diagrama de flujo.

El problema fundamental reside en reducir al mínimo los rechazos finos y su contenido en andalucita, y la adecuada eliminación del Fe en los concentrados densos.

La **minimización de rechazos finos** requiere un estudio adecuado de molienda, comprendiendo curvas granulometría-carga, determinación de velocidad del molino, tasa de llenado, cargas circulantes, etc.

En cuanto a la **eliminación de Fe en los concentrados**, es indispensable considerar ensayos de atricción, para valorar el grado de eliminación de las micas que impurifican los granos de andalucita, aportando hierro.

En su vertiente teórica, las posibilidades de aplicación del proceso de atricción están basadas en los siguientes puntos:

- Se consideran minerales portadores de Fe la biotita y la ilmenita.
- Se dispone de análisis de FeO y TiO₂ (técnica microanalítica) de inclusiones de biotita e ilmenita en granos de andalucita, reflejados en el informe de Leeds Mineral Services Group.

	<u>ilmenita</u>	<u>biotita</u>
% FeO	43,4	23,7
% TiO ₂	52,9	2,1

- La biotita que se encuentra en la superficie de los granos es eliminable por atricciónado: Existen micas en superficie, con tamaños superiores a 100 μ.
- La ilmenita, presente en forma de inclusiones de dimensión entre 20 y 50 μ no debe considerarse eliminable.
- Otras inclusiones, como cuarzo, apatito y xenotima, además de no ser eliminables sin recurrir a molienda, no aportan Fe.

Partiendo de estos datos, es posible seguir un cálculo teórico orientativo de la proporción de Fe susceptible de ser eliminado recurriendo al atricciónado de los concentrados, y que será una parte del contenido en la fase biotita.

Para ello, se parte de las siguientes relaciones derivadas de los análisis anteriormente indicados:

$$Fe_{ilm} = 0,82 Ti_{ilm}$$

$$Fe_{biot} = 11,29 Ti_{biot}$$

$$Ti = Ti_{ilm} + Ti_{biot}$$

$$Fe = Fe_{ilm} + Fe_{biot}$$

siendo:

Fe = el % de FeO total del concentrado

Ti = el % de TiO₂ total del concentrado

Ti_{ilm} = el % de TiO₂ correspondiente a la ilmenita

Ti_{biot} = el % de TiO₂ correspondiente a la biotita

Fe_{ilm} = el % de FeO correspondiente a la ilmenita

Fe_{biot} = el % de FeO correspondiente a la biotita

De las anteriores relaciones se deduce que:

$$Ti_{ilm} = 1,08 Ti - 0,095 Fe$$

$$Fe_{ilm} = 0,88 Ti - 0,08 Fe$$

y, calculando las distribuciones correspondientes, nos quedaría que:

$$\% Ti \text{ atribuible a ilmenita} = 108 - 10 \frac{Fe}{Ti}$$

$$\% Fe \text{ atribuible a ilmenita} = 88 \frac{Ti}{Fe} - 8$$

Teniendo en cuenta que $\%FeO = 0,9 \%$ Fe_2O_3 , pueden calcularse mediante dichas fórmulas las distribuciones para el concentrado no magnético, que aparecen reflejadas en la siguiente tabla:

Clases	Distribución Ti		Distribución Fe	
	ilmenita	biotita	ilmenita	biotita
-2000+1000	66	34	13	87
-1000+500	62	38	11	89
-500+250	42	58	5	95
-250+100	46	54	6	94
TOTAL CONCENT.	54	46	9	91

Se concluye que el 91% del Fe indicado en los análisis, lo aporta la biotita; si se considera que un 50% del total de las inclusiones y engarces superficiales de micas son eliminables, se puede afirmar que teóricamente un 45% del Fe total de concentrados puede ser pasado al estéril, mejorando sensiblemente la calidad del producto final.

Ahora bien, ésto es válido como hipótesis de trabajo, y es conveniente hacer una clara distinción entre el hierro aportado por la ilmenita y el aportado por la biotita. El primero, no es eliminable por atricciónado, y el segundo, lo será en una proporción a priori no cuantificable más que mediante ensayos. Procede hablar, por tanto, de contenidos mínimos alcanzables, que pueden fijarse en:

Contenido en Fe residual no eliminable	0,1%
Contenido en Fe como objetivo	0,7%

En resumen, *teóricamente*, mediante atricciónado puede ser posible bajar los contenidos en hierro de los concentrados hasta niveles perfectamente admisibles.

*** * ***

A N E X O S

ANEXO 1 .- ESTUDIO PETROGRAFICO

DESCRIPCION MICROSCOPICA DE
ESQUISTOS ANDALUCITICOS PROCEDENTES
DEL AREA DE TOMIÑO

J. Fernández-Catuxo
L.G. Corretgé Castañón
O. Suárez
A. Cuesta
J. Fernández Suárez
P. Montero

Area de Petrología y Geoquímica
Departamento de Geología
(Universidad de Oviedo).

DESCRIPCION DE ANDALUCITAS METAMORFICAS PROCEDENTES DEL AREA DE TOMIÑO.

TIPO DE ROCA Y CONTEXTO TEXTURAL DE LAS ANDALUCITAS.

Esquisto biotítico-moscovítico con textura porfidoblástica procedente del complejo de Monteferrero-El Rosal. Los minerales esenciales son cuarzo, moscovita, biotita y andalucita.

Las andalucitas aparecen como blastos en una matriz de cuarzo y micas con textura granolepidoblástica y foliación bien desarrollada.

El crecimiento de las andalucitas parece haber sido estático, aunque posteriormente se produce una deformación ligeramente rotacional en la que estos minerales actúan como cuerpos rígidos precinemáticos. (Fotos 1 y 14)

Su porcentaje en la roca está en torno al 30%.

DESCRIPCION DE LAS ANDALUCITAS.

MORFOLOGIA

Cristales generalmente idiomórficos y subidiomórficos (Foto 2) pudiendo observarse secciones transversales y prismáticas. Localmente existe algún cristal fragmentado de forma frágil por efecto de la deformación tardía.

Los tamaños observados en lámina delgada de las secciones transversales oscilan entre 1 y 8 mm y el de las prismáticas supera los 10 mm con frecuencia.

COLOR Y PLEOCROISMO.

Las andalucitas de estas muestras son incoloras en líneas generales aunque pueden observarse núcleos pleocroicos de tonalidad rosa en las secciones longitudinales (Foto 3). Estos zonados ópticos no siempre son regulares sino que a veces muestran morfologías peculiares (Foto 4).

EXFOLIACION.

Se manifiestan los dos sistemas de exfoliación característicos de las andalucitas, aproximadamente perpendiculares en sección transversal (Foto 5). Estas discontinuidades controlan notablemente la fracturación de estos minerales dando lugar a fragmentos con abundantes angulos rectos (Foto 6).

INCLUSIONES.

De forma generalizada aparecen inclusiones carbonosas características de las quiastolitas con una distribución geométrica en las secciones transversales (Foto 7) y más anárquica en las prismáticas (Foto 8).

Mucho menos abundantes son las diminutas inclusiones de cuarzo y micas (Fotos 9 y 10).

ALTERACION.

Ligera sericitización actuando sobre todo a través de los planos de exfoliación y envolviendo los cristales en forma de pequeños halos (Foto 11). En algunos cristales aparecen pequeños poros abiertos a favor de los planos de exfoliación (Foto 12). La moscovitización, alteración frecuente en la andalucitas, es muy tenue en estas muestras (Foto 13).

Foto 1. Borde de un cristal de andalucita y detalle de la
textura general de la roca. N.C. Ancho de la foto: 4mm.

Foto 2. Ejemplo de cristal idiomórfico de andalucita. N.C.
Ancho de la foto: 4 mm.

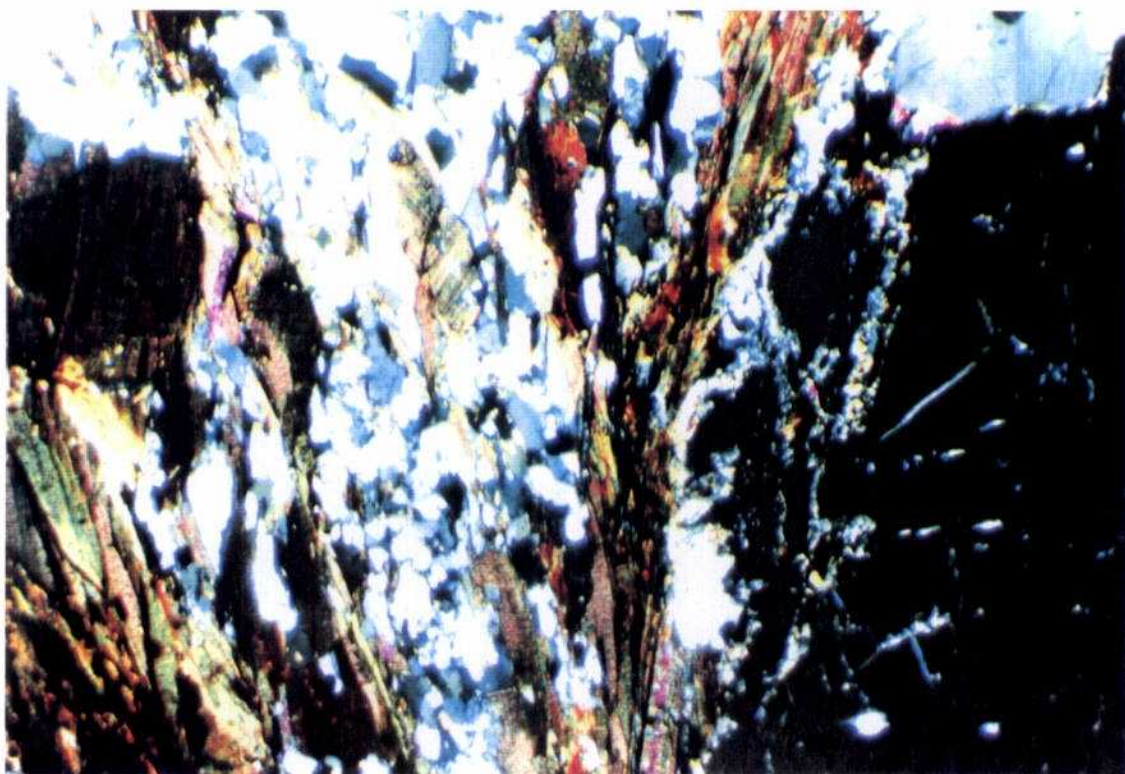


Foto 3. Núcleo pleocroico (color rosado) en una sección subidiomórfica de andalucita. N.P. Ancho de la foto: 4 mm.

Foto 4. Zonados irregulares en un sección prismática de andalucita. N.P. Ancho de la foto: 3,1 mm.

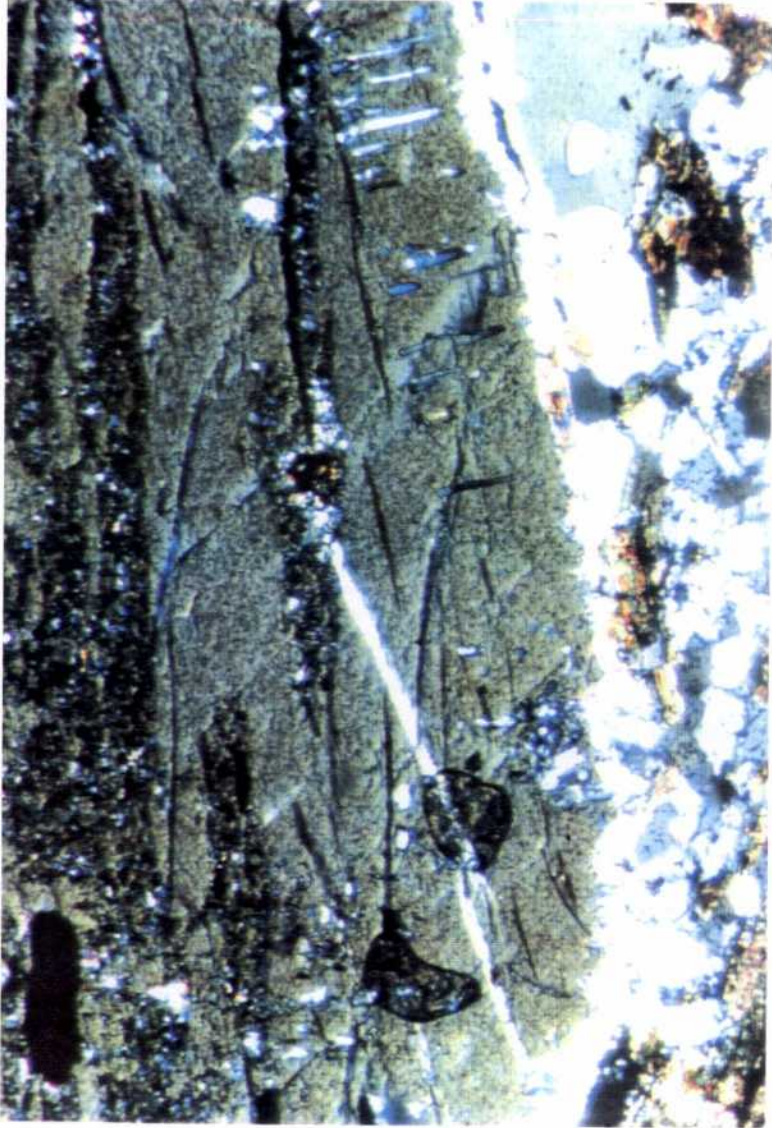


Foto 5. Sistemas de exfoliación característicos de las andalucitas (ortogonales) en una sección basal. N.C. Ancho de la foto: 3,1 mm.

Foto 6. Andalucita fracturada según planos de exfoliación.
N.P. Ancho de la foto: 4 mm.

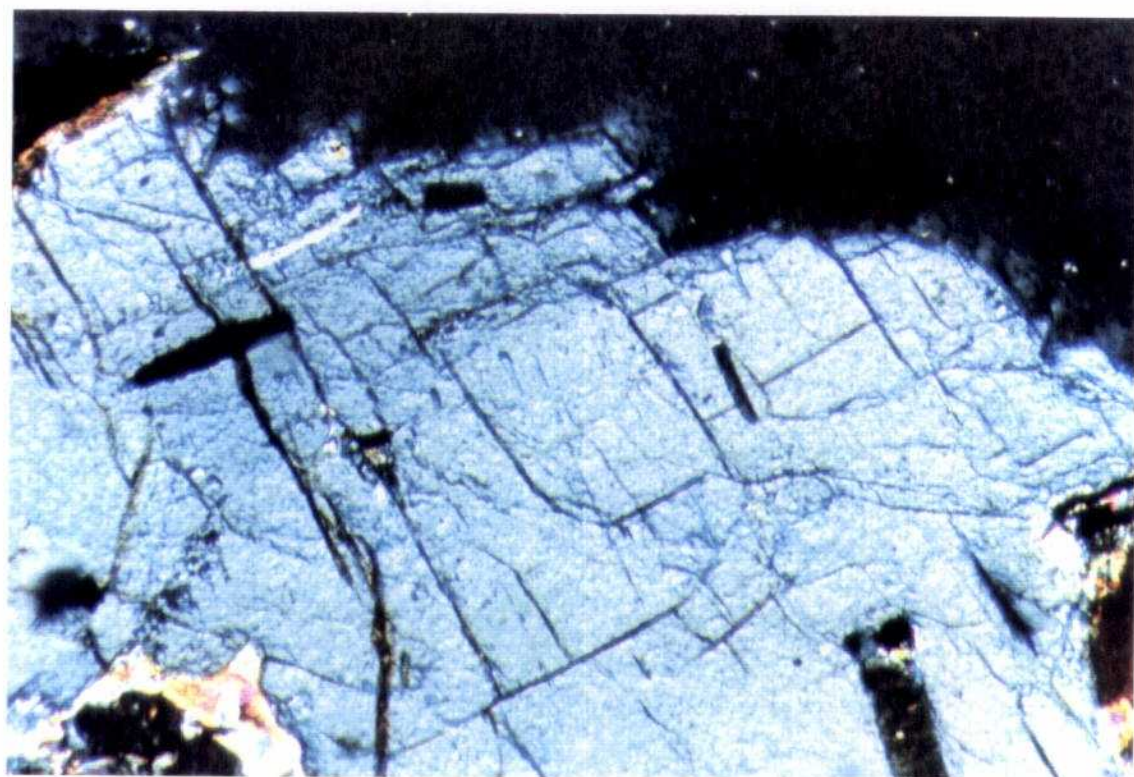


Foto 7. Inclusiones geométricas de carbono en una sección transversal de andalucita. N.P. Ancho de la foto: 4 mm.

Foto 8. Inclusiones carbonosas irregulares en sección prismática de andalucita. N.P. Ancho de la foto: 3,1 mm.

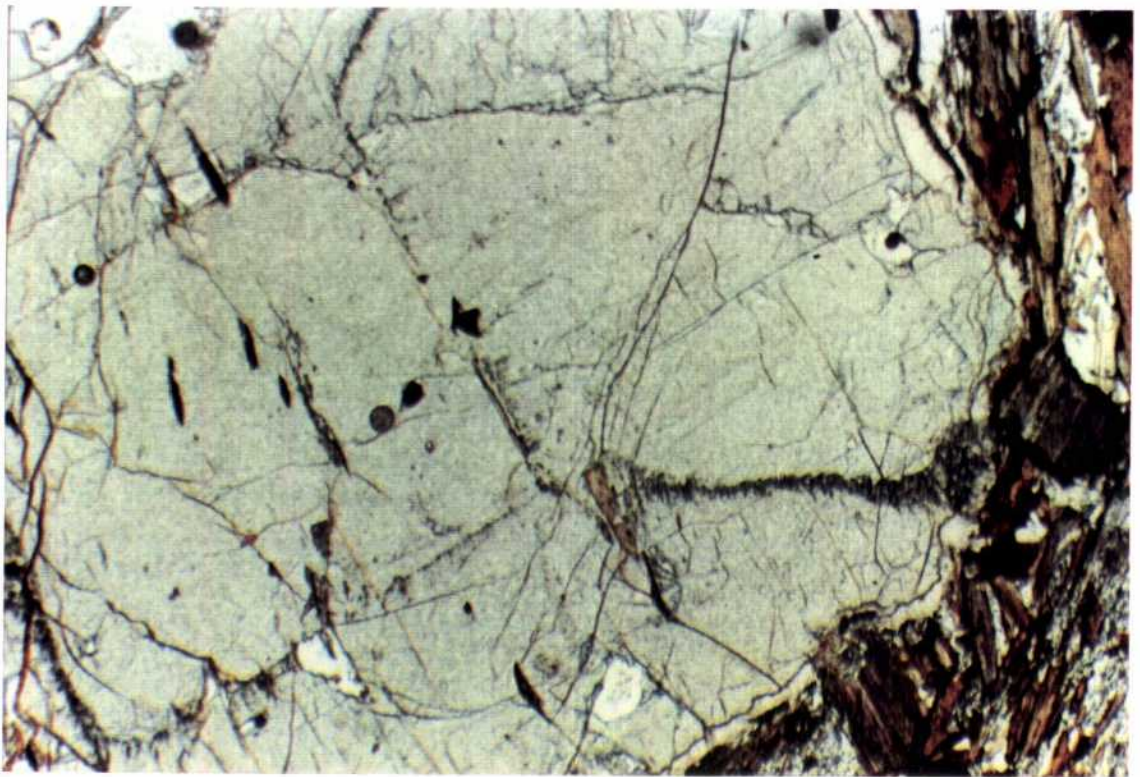


Foto 9. Inclusiones de Biotita en andalucita. N.C. Ancho de la foto: 3,1 mm.

Foto 10. Cuarzo incluido en andalucita. N.C. Ancho de la foto: 3,1 mm.

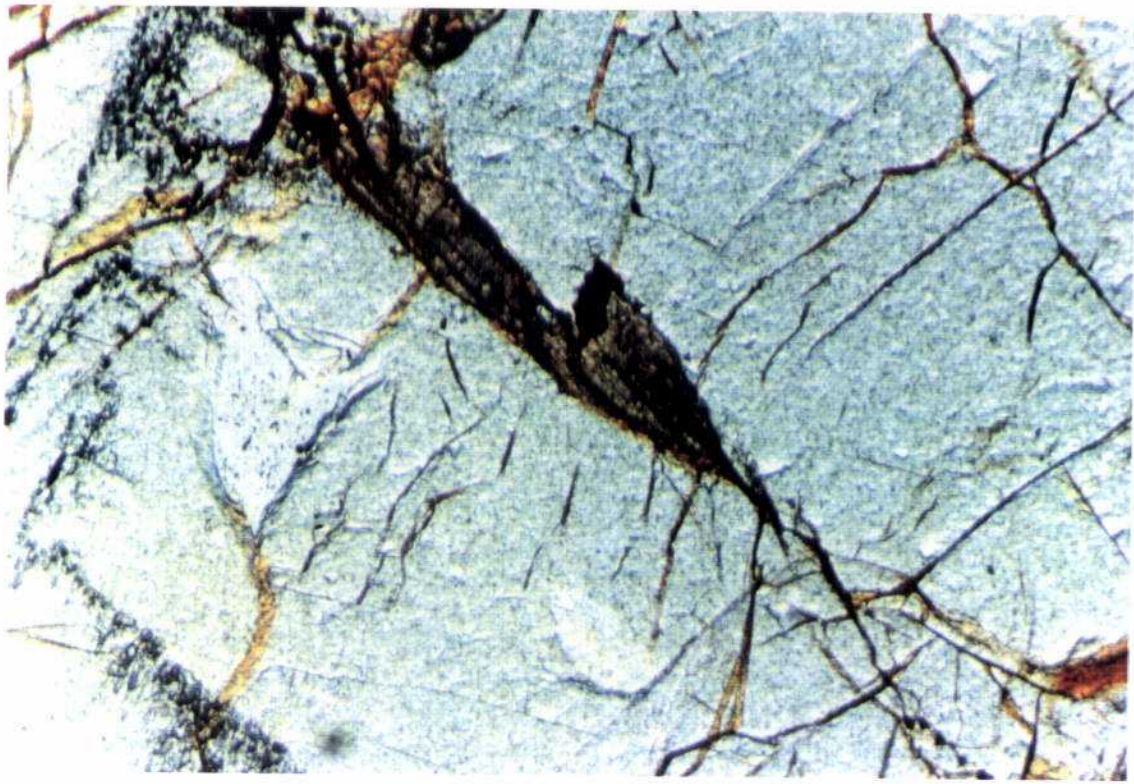


Foto 11. Halo de sericita bordeando un cristal de andalucita.
N.C. Ancho de la foto: 0,5 mm.

Foto 12. Poros formados a favor de la exfoliación. N.C. Ancho
de la foto: 3,1 mm.

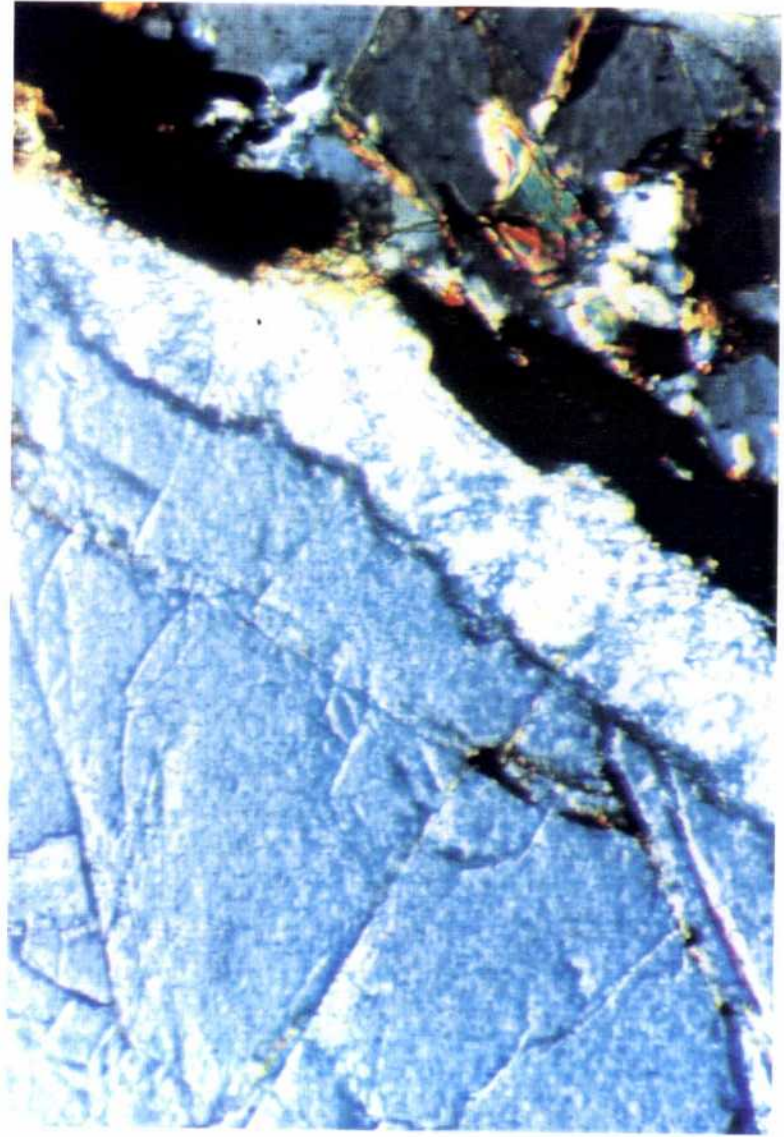
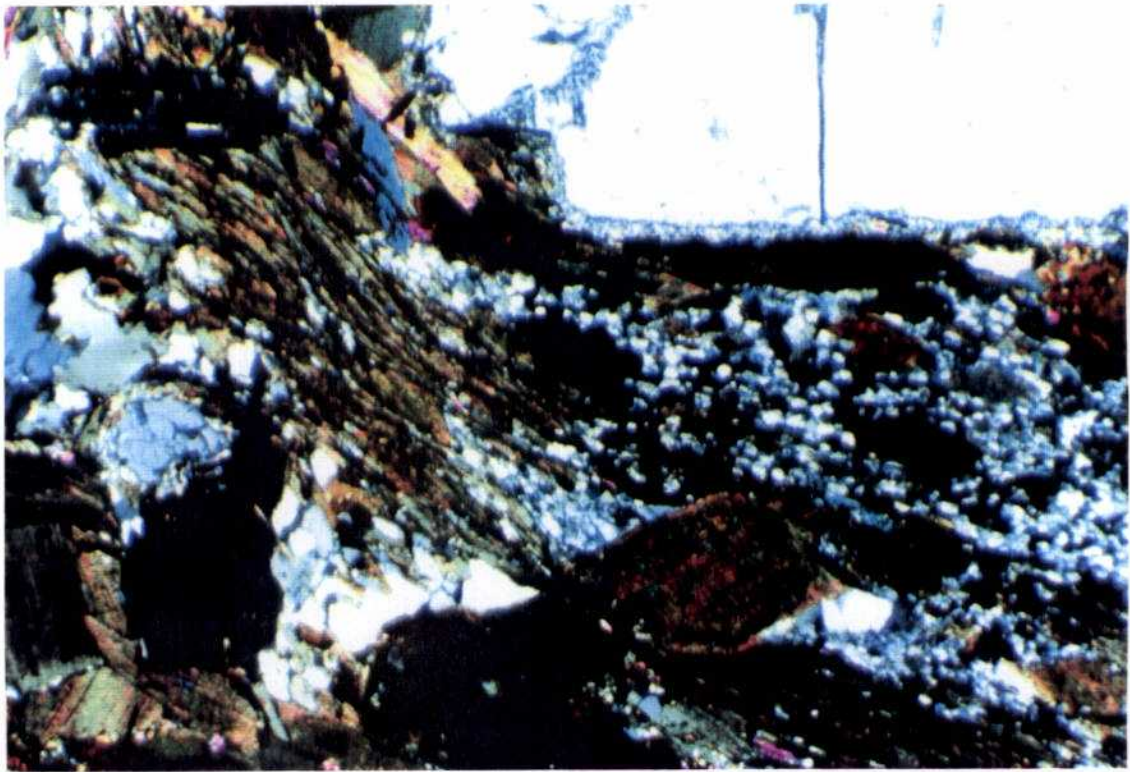
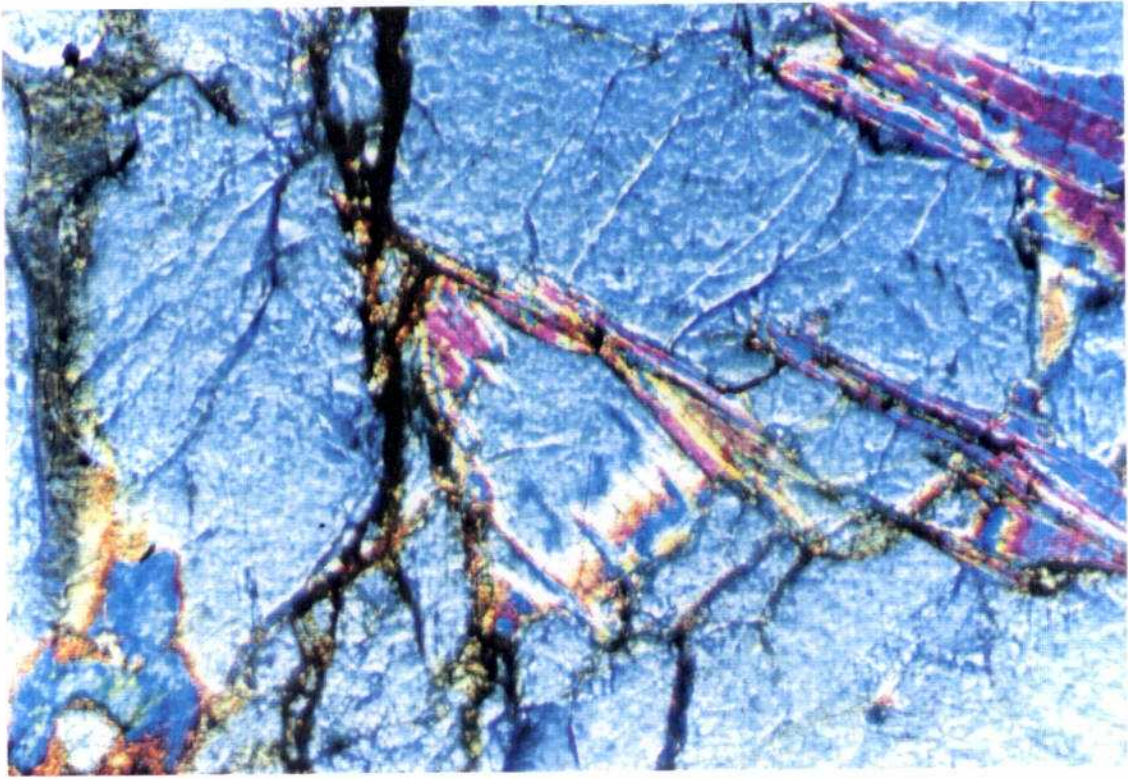


Foto 13. Fragmento de andalucita sufriendo un proceso de moscovitización. N.C. Ancho de la foto: 0,64 mm.

Foto 14. Esquistosidad principal de la roca adaptándose al contorno de una andalucita. N.C. Ancho de la foto: 4mm.



ANEXO 2 .- MINERALOMETRIA

RELACION DE MUESTRAS

Ref.	Clase granulom.	Fracc.
51-01	Todo uno bruto	
51-02	- 6.35 + 4.75	TU
51-03	- 4.75 + 2	TU
51-04	- 2 + 1	TU
51-05	- 1 + 0.5	TU
51-06	- 0.5 + 0.25	TU
51-07	- 0.25 + 0.106	TU
51-08	- 0.106	TU
51-17	- 2 + 1	NM
51-18	- 2 + 1	M
51-19	- 2 + 1	NM D
51-20	- 2 + 1	NM L
51-21	- 1 + 0.5	NM
51-22	- 1 + 0.5	M
51-23	- 1 + 0.5	NM D
51-24	- 1 + 0.5	NM L
51-25	- 0.5 + 0.25	NM
51-26	- 0.5 + 0.25	M
51-27	- 0.5 + 0.25	NM D
51-28	- 0.5 + 0.25	NM L
51-29	- 0.25 + 0.106	NM
51-30	- 0.25 + 0.106	M
51-31	- 0.25 + 0.106	NM D
51-32	- 0.25 + 0.106	NM L

Ref.	Clase granulom.	Fracc.
51-33	- 6.35 + 4.75	D
51-34	- 6.35 + 4.75	L
51-35	- 4.75 + 2	D
51-36	- 4.75 + 2	L
51-37	- 2 + 1	D
51-38	- 2 + 1	L
51-39	- 1 + 0.5	D
51-40	- 1 + 0.5	L
51-41	- 0.5 + 0.25	D
51-42	- 0.5 + 0.25	L
51-43	- 0.25 + 0.106	D
51-44	- 0.25 + 0.106	L

TU = Todo uno
 M = Magnético
 NM = No Magnético
 D = Denso ($> 2,82 \text{ g/cm}^3$)
 L = Ligero

MUESTRA 51-03

Contenido aproximado

Agregados micáceos	80 %
Andalucita	10 %
Agregados micáceos con andalucita	5 %
Otros	5 %

Andalucita: El tamaño de los granos oscila entre 2 y 4 mm, son angulosos e irregulares. El color varia desde claro algo amarillento a rosado suave. Se aprecian pequeñas láminas de biotita pegadas a ellos, y, en alguno, impurezas más oscuras de minerales asociados.

Agregados micáceos: Forman la mayor parte del contenido de la muestra. Su tamaño es variable, de 1 a 5 mm. Tienen forma irregular y composición diferente.

Los hay de colores claros, siendo su composición principalmente moscovita, estando un poco oxidadas las partículas de hierro que llevan, así como nódulos independientes. En estos mismos granos se pueden ver cristales de turmalina de 1 mm de longitud muy repartidos sobre el grano.

Los de colores oscuros, cuyo componente principal es la biotita, que se encuentra como empaquetada, son de mayor dureza que los anteriores y como elementos acompañantes puede encontrarse cuarzo de tamaño pequeño y andalucita.

Por último, se observan unos granos muy micaceos, blandos y de tonos grises más claros, cuyos principales componentes son moscovita y biotita.

MUESTRA 51-04

Contenido aproximado

Agregados micaceos	75 %
Andalucita	15 %
Agregados micáceos con andalucita	5 %
Otros	5 %

Andalucita: Los granos en esta muestra son de tamaño inferior a la anterior oscilando entre 1 y 4 mm, y, aunque las formas son irregulares, se aprecian las formas cristalinas más claras, de prismas aplanados; también se aprecian con mayor claridad las inclusiones de materia carbonosa. El color es menos rosado que en la muestra anterior, siendo algo mas incoloros.

Agregados micáceos: En cuanto a estos granos, se puede decir lo que en la muestra 51-03.

MUESTRA 51-05

Contenido aproximado

Agregados micáceos	90 %
Andalucita	3 %
Agregados micáceos con andalucita	2 %
Otros	5 %

Andalucita: El tamaño de los granos oscila entre 1 mm y 3 mm; son inferiores a las anteriores. Son también angulosos e irregulares. El color es más transparente que en la muestra anterior.

Agregados micáceos: Son idénticos a los vistos en las muestras anteriores, aunque la proporción de los más claros ha disminuido; en cuanto a lo demás son idénticos.

MUESTRA 51-17

Contenido aproximado

Agregados micáceos	20 %
Andalucita	65 %
Agregados micáceos con andalucita	5 %
Otros	10 %

Andalucita: El tamaño de los granos oscila entre 2 y 5 mm. Son angulosos e irregulares, aunque destacan algo más las formas prismáticas. Los colores van desde transparentes hasta rosados claros. También se aprecia bastante cantidad de granos transparentes con abundantes impurezas.

Agregados micáceos: Estos han disminuido bastante en cuanto a su cantidad. Son mas aplanadas en su forma y mas blandos.

MUESTRA 51-19

Contenido aproximado

Agregados micáceos	2 %
Andalucita	88 %
Otros	10 %

Andalucita: El tamaño de los granos oscila entre 2 y 5 mm. Son angulosos e irregulares, destacando en alguno de ellos las formas prismáticas.

En cuanto a sus tonalidades, los hay transparentes con algunas impurezas; otros presentan una mayor cantidad de impurezas y tienen una forma prismática más perfecta; por último, están los de tonalidad rosada, entre los que se encuentran los de mayor tamaño.

Agregados micáceos: Prácticamente casi no existen, tan sólo aparecen pegados a las caras laterales de los granos de andalucita. Como granos sueltos, igual que en las muestras anteriores, ya no se aprecian.

MUESTRA 51-21

Contenido aproximado

Agregados micáceos	10 %
Andalucita	77 %
Moscovita	3 %
Otros	10 %

Andalucita: El tamaño de grano es de 1 mm, muy uniforme. Se observa predominio de andalucita transparente con impurezas sobre andalucitas rosadas. Los cristales son irregulares aunque aparecen algunas formas prismáticas.

Agregados micáceos: La mayoría son láminas de agregados biotíticos y moscovíticos, de tamaño pequeño y muy débiles. También se pueden observar granos de moscovita, aunque en menor proporción.

MUESTRA 51-23

Contenido aproximado

Agregados micáceos	2 %
Andalucita	87 %
Moscovita	1 %
Otros	10 %

Andalucita: El tamaño de grano es muy uniforme, de 1 mm. Los granos son irregulares, aunque se observan algunas formas prismáticas. La proporción de andalucitas rosas y transparentes con inclusiones es muy similar.

Agregados micáceos: Son muy escasos y los pocos que se observan son grises con predominio de la biotita.

También se ven láminas de moscovita muy transparentes, aunque en muy baja proporción.

ANEXO 3 .- ANALISIS QUIMICOS



Nombre del Informe: OFICINA GALICIA I.T.G.E. STL 5221, 5239

<u>MUESTRA</u>	<u>%SiO2</u>	<u>%Al2O3</u>	<u>%Fe2O3</u>	<u>%CaO</u>	<u>%TiO2</u>	<u>%MnO</u>	<u>%K2O</u>	<u>%MgO</u>	<u>%Na2O</u>	<u>%PPC</u>
51-01	49.91	25.28	12.035	0.018	1.151	0.067	3.989	2.403	0.661	4.39
51-02	46.09	30.24	11.674	0.025	1.127	0.065	3.920	2.407	0.526	3.85
51-03	46.29	31.82	10.894	0.019	1.033	0.061	3.372	2.242	0.391	3.80
51-04	49.03	24.98	12.676	0.018	1.231	0.074	4.140	2.572	0.526	4.65
51-05	47.60	24.41	13.723	0.017	1.306	0.081	4.357	2.803	0.485	5.11
51-06	49.33	24.52	12.781	0.017	1.225	0.073	4.021	2.484	0.472	4.97
51-07	55.55	21.03	11.320	0.017	1.081	0.066	3.830	2.278	0.593	4.15
51-08	67.51	17.04	5.896	0.026	0.692	0.034	3.109	0.915	0.607	4.05
51-17	48.31	45.82	1.648	0.016	0.352	0.013	1.147	0.294	0.341	2.03
51-18	44.54	22.38	17.447	0.025	1.545	0.107	4.918	3.710	0.377	4.88
51-19	38.97	57.18	1.424	0.016	0.390	0.015	0.294	0.249	0.283	1.16
51-20	72.62	17.50	2.123	0.010	0.325	0.008	3.412	0.328	0.539	3.13
51-21	53.23	39.85	1.632	0.016	0.317	0.009	1.877	0.307	0.458	2.26
51-22	44.79	26.23	14.771	0.013	1.339	0.089	4.657	3.032	0.310	4.70
51-23	39.00	57.66	1.168	0.021	0.338	0.013	0.275	0.205	0.189	1.10
51-24	71.75	18.04	1.846	0.013	0.293	0.008	3.769	0.280	0.607	3.35
51-25	63.88	31.81	0.905	0.012	0.123	0.005	0.952	0.157	0.324	1.80
51-26	44.72	24.10	15.578	0.028	1.441	0.090	5.075	3.116	0.350	5.40
51-27	38.00	59.83	0.753	0.014	0.104	0.004	0.078	0.161	0.135	0.90
51-28	85.50	9.38	0.980	0.010	0.152	0.004	1.754	0.073	0.283	1.83
51-29	82.63	13.11	0.933	0.011	0.135	0.004	1.057	0.109	0.324	1.65
51-30	53.60	21.73	11.894	0.028	1.211	0.066	3.768	2.141	0.485	4.96
51-31	37.64	58.74	1.462	0.027	0.264	0.008	0.325	0.296	0.108	1.10
51-32	88.40	7.49	0.976	0.014	0.132	0.004	1.312	0.069	0.229	1.35





ANALISIS DE P_2O_5 DE 16 MUESTRAS PRESENTADAS POR
LA OFICINA DE GALICIA.

<u>MUESTRA</u>	<u>%P_2O_5</u>
51-1	0,102
51-2	0,085
51-3	0,082
51-4	0,106
51-5	0,108
51-6	0,114
51-7	0,089
51-8	0,124
51-17	0,030
51-19	0,023
51-21	0,042
51-23	0,026
51-25	0,027
51-27	0,019
51-29	0,032
51-31	0,031

Madrid, 19 de Febrero 1991



ANEXO 4 .- ANALISIS POR DRX



ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X DE 24 MUESTRAS
ENVIADAS POR LA "OFICINA DEL ITGE EN GALICIA"

<u>MUESTRA</u>	<u>MIN.PRINCIPAL</u>	<u>MIN.SECUNDARIOS</u>	<u>ACCESORIOS Y TRAZAS</u>
1	MOSCOVITA	CUARZO, ANDALUCITA	CLORITA, FELDESP, TURMALINA
2	MOSCOVITA, ANDALUCITA	CUARZO	CLORITA, FELDESPATOS
3	MOSCOVITA, ANDALUCITA	CUARZO	CLORITA, FELDESPATOS
4	MOSCOVITA	CUARZO, ANDALUCITA	CLORITA, FELDESPATOS
5	MOSCOVITA	CUARZO, ANDALUCITA	CLORITA, FELDESPATOS
6	MOSCOVITA	CUARZO, ANDALUCITA	CLORITA, FELDESPATOS
7	MOSCOVITA	CUARZO, ANDALUCITA	CLORITA, FELDESPATOS
8	MOSCOVITA	CUARZO	ANDALUCITA, CLORITA, FELDES
17	ANDALUCITA	CUARZO, MOSCOVITA	CLORITA
18	MOSCOVITA	CUARZO	ANDALUCITA, CLORITA, FELDES
19	ANDALUCITA	----	CUARZO, MOSCOVITA, CLORITA, FELDESPATOS.
20	MOSCOVITA	CUARZO	ANDALUCITA, CAOLIN
21	MOSCOVITA, ANDALUCITA	CUARZO	CLORITA, FELDESPATOS
22	MOSCOVITA	ANDALUCITA, CUARZO	CLORITA, FELDESPATOS
23	ANDALUCITA	----	CUARZO, MOSCOVITA, CLORITA
24	MOSCOVITA	CUARZO	ANDALUCITA, CAOLIN, FELDESP
25	MOSCOVITA, ANDALUCITA	CUARZO	CLORITA, FELDESPATOS
26	MOSCOVITA	ANDALUCITA, CUARZO	CLORITA, FELDESPATOS
27	ANDALUCITA	----	MOSCOVITA, CUARZO, CLORITA, FELDESPATOS.

.../...



<u>MUESTRA</u>	<u>MIN. PRINCIPAL</u>	<u>MIN. SECUNDARIOS</u>	<u>ACCESORIOS Y TRAZAS</u>
28	CUARZO	MOSCOVITA	ANDALUCITA, FELDESPATOS, CAOLIN.
29	CUARZO	MOSCOVITA	ANDALUCITA, FELDESPATOS, CAOLIN.
30	MOSCOVITA	CUARZO	ANDALUCITA, CUARZO, FELDESPA_ TOS, ANFIBOL, TURMALINA,
31	ANDALUCITA	----	MOSCOVITA, CUARZO, CLORITA, FELDESPATOS.
32	CUARZO	MOSCOVITA	ANDALUCITA, CAOLIN, CLORITA, FELDESPATOS.

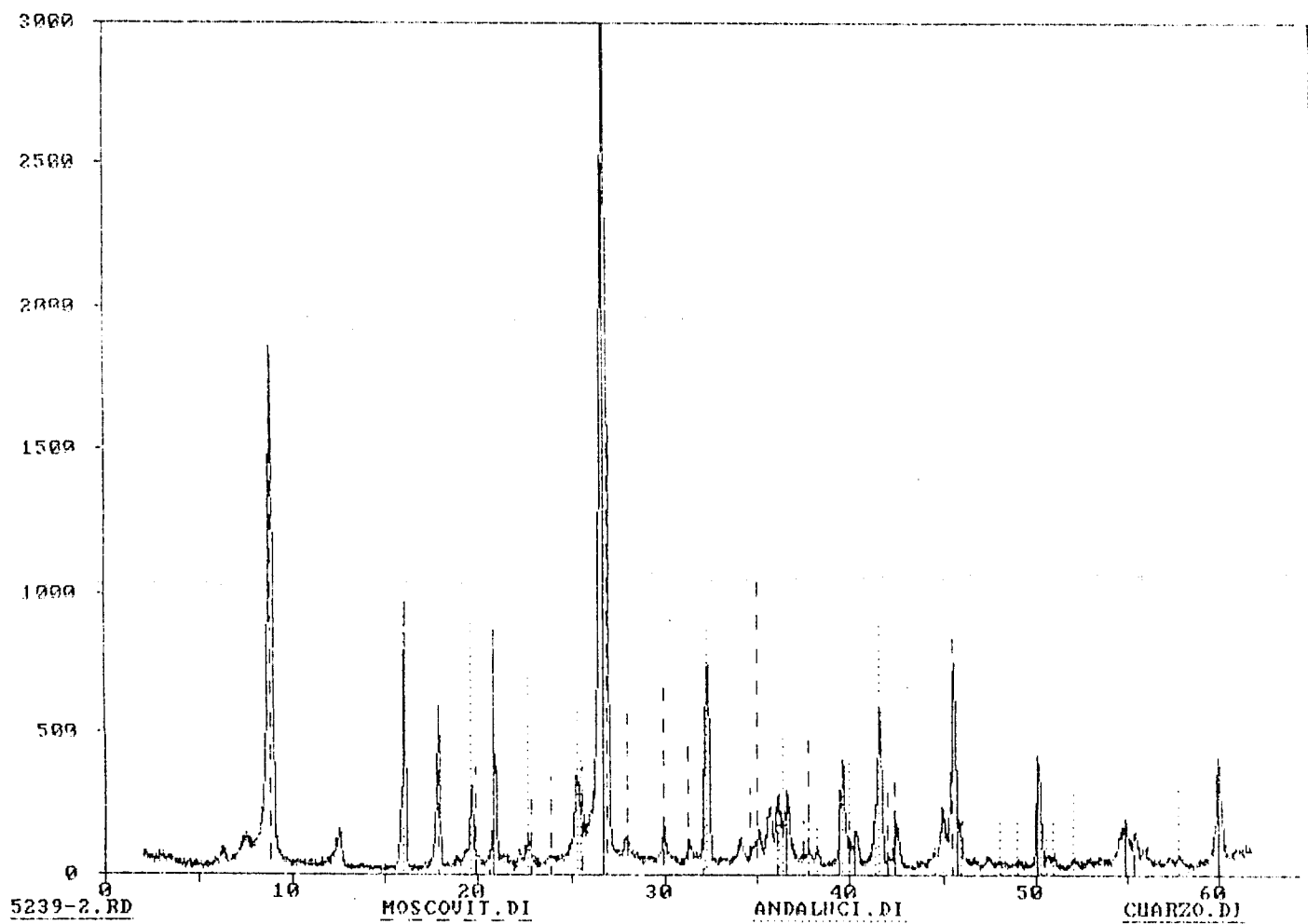
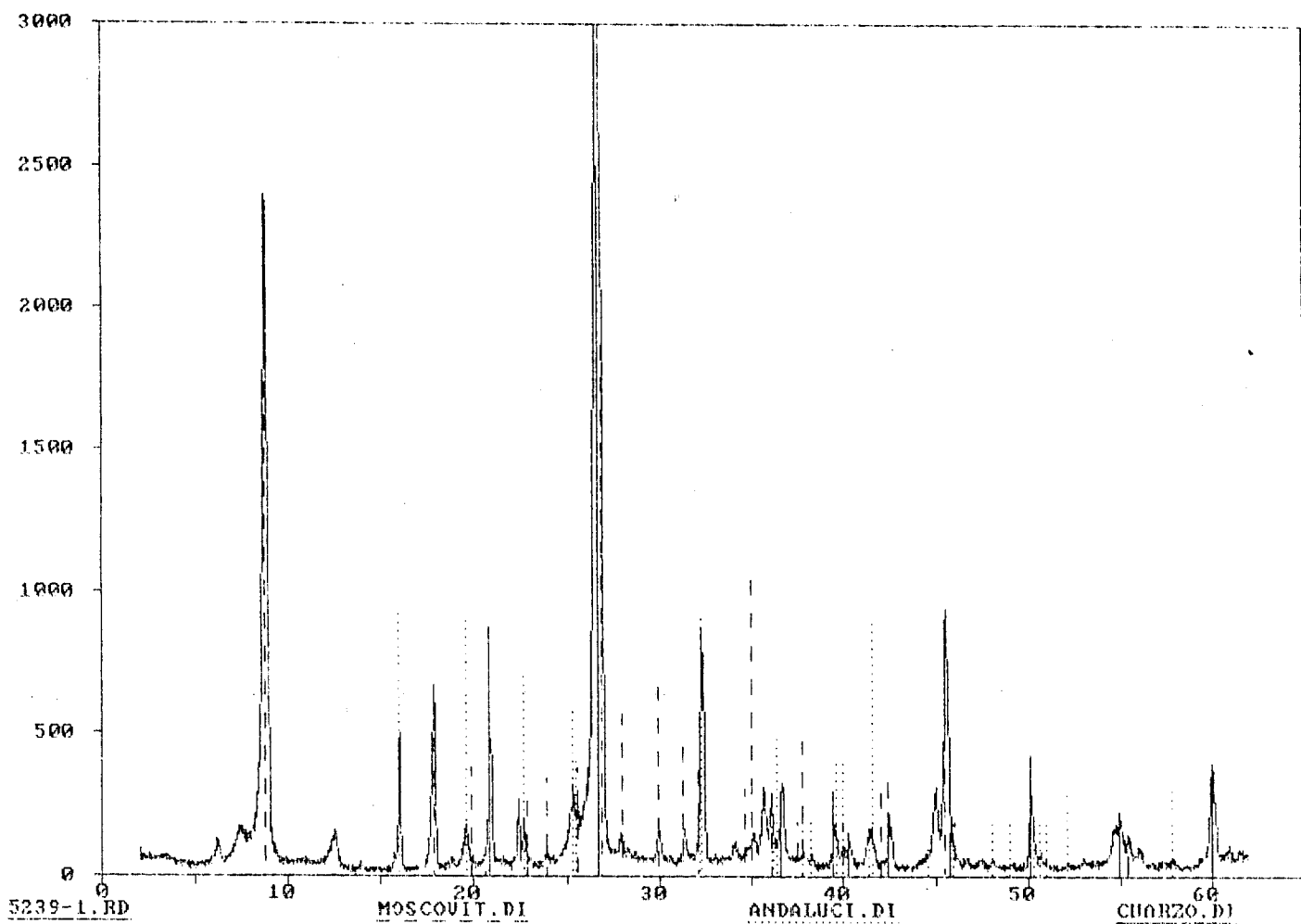
Madrid, 22 de Marzo de 1991

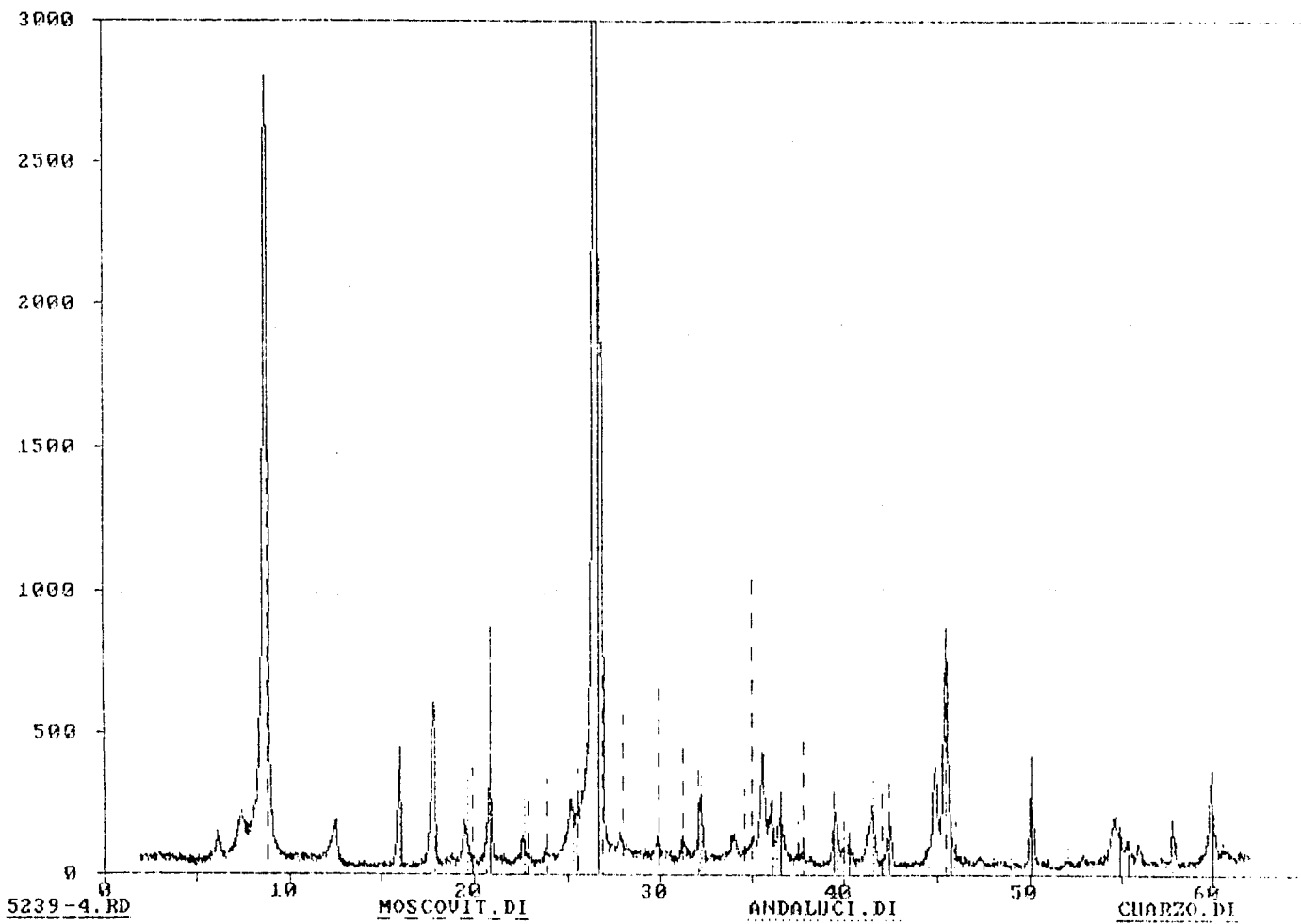
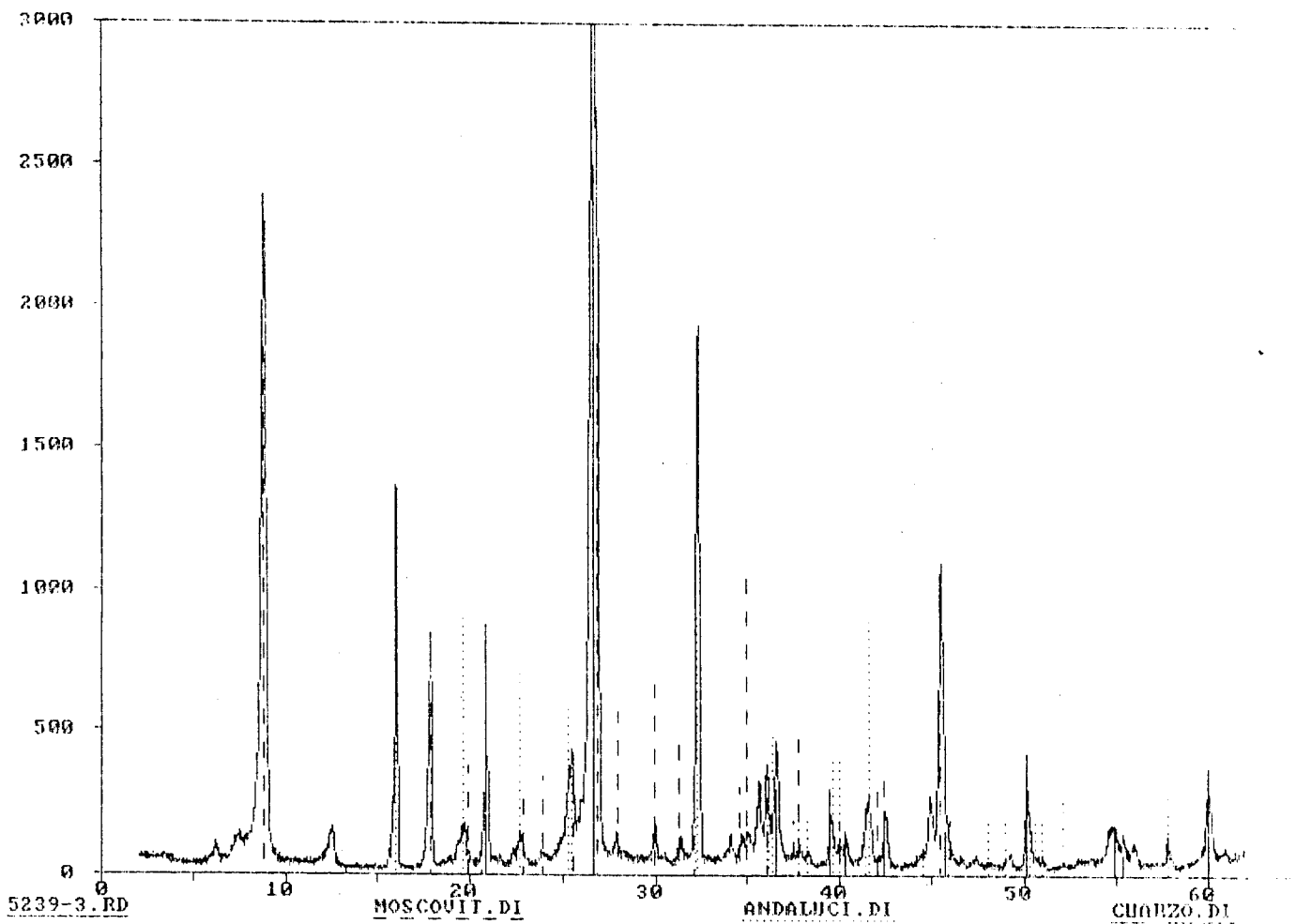


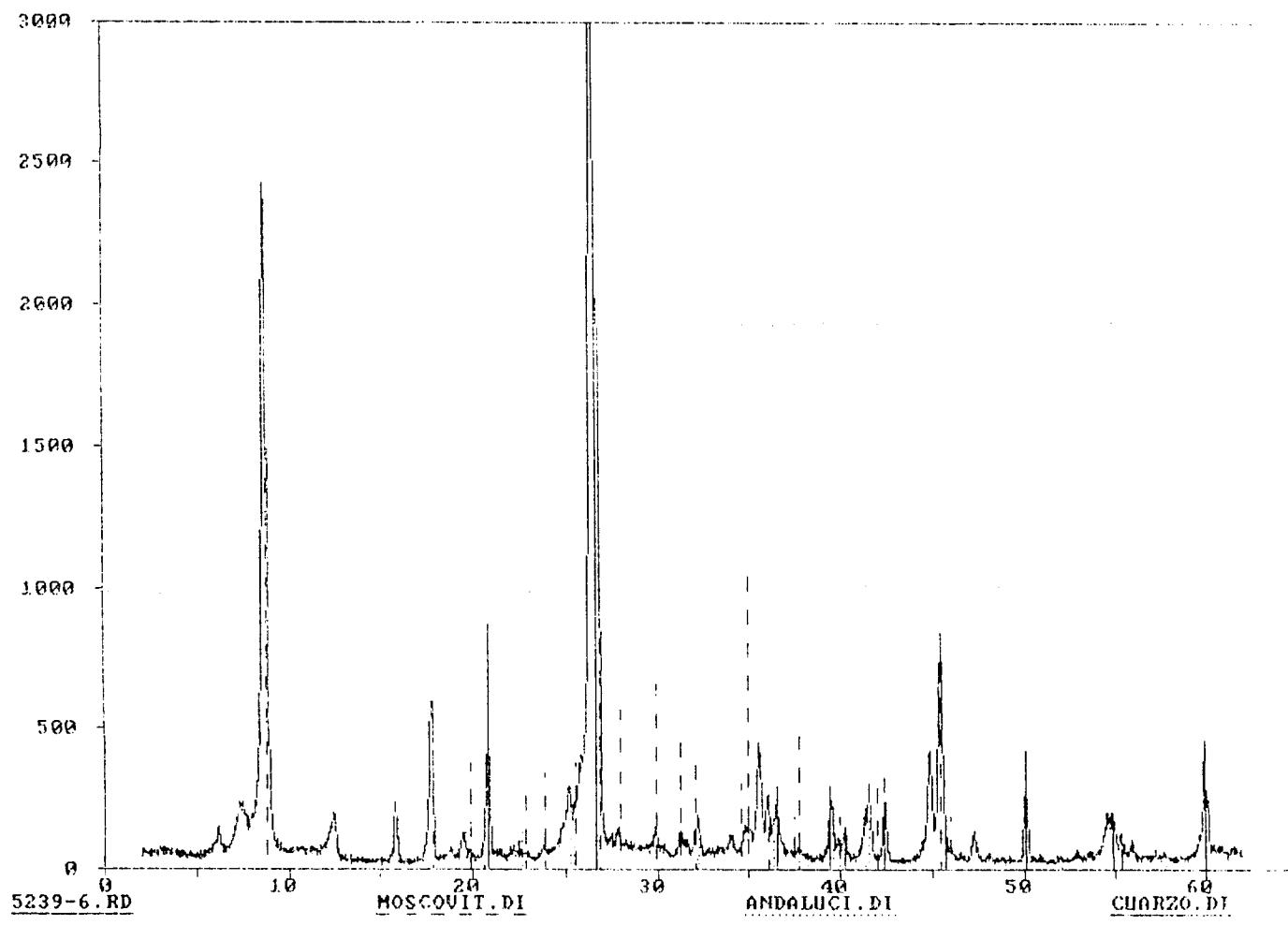
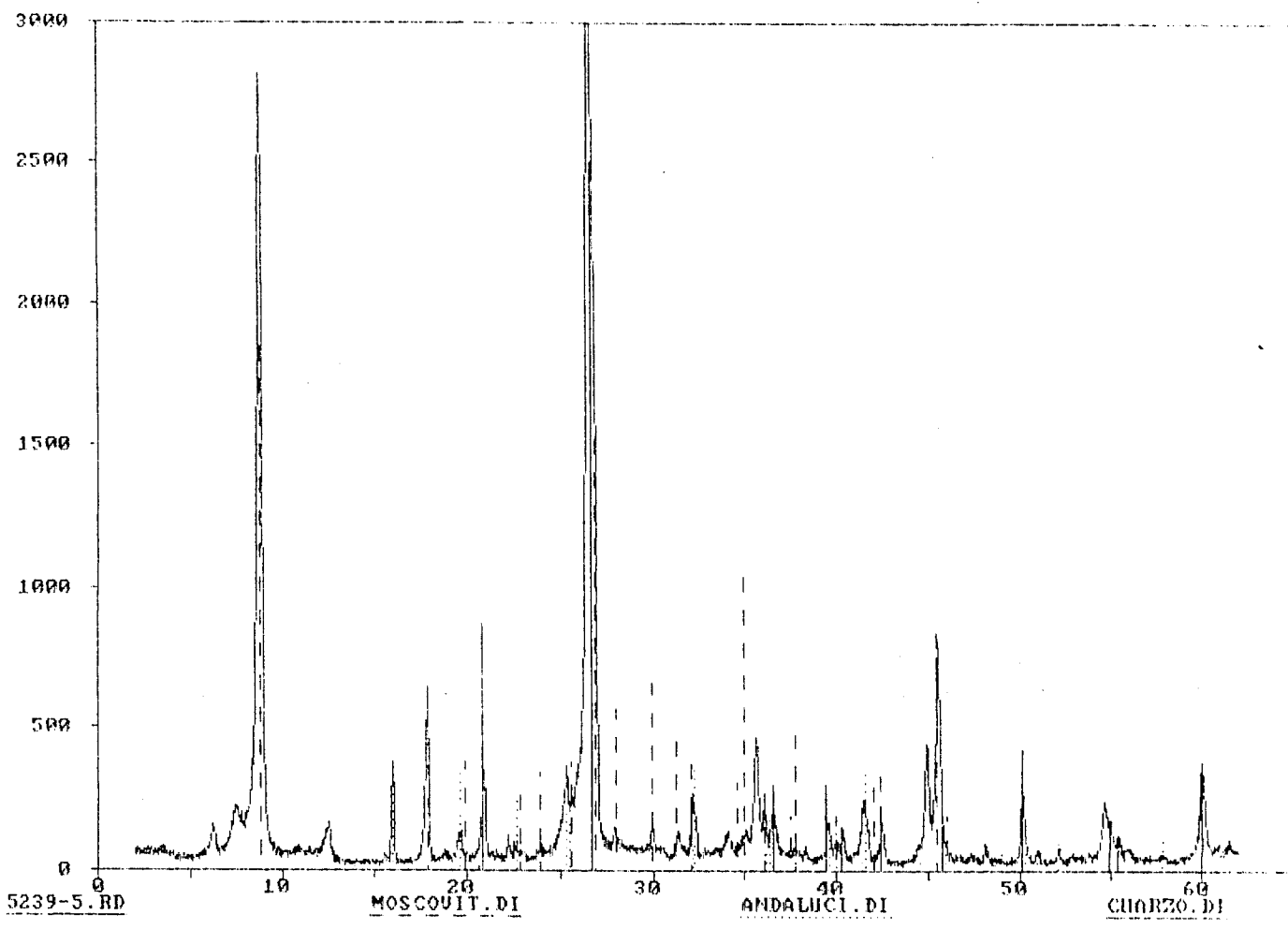
En las muestras 1,2,3,4,5,6,7,8,18,22,26 y 30 se observa a nivel de trazas una reflexión $A \approx 12\text{Å}$ que se ha sometido, en agregado - orientado, a las pruebas de tratamiento con Etilen-Glicol, Glicerina y térmico a 550°C .

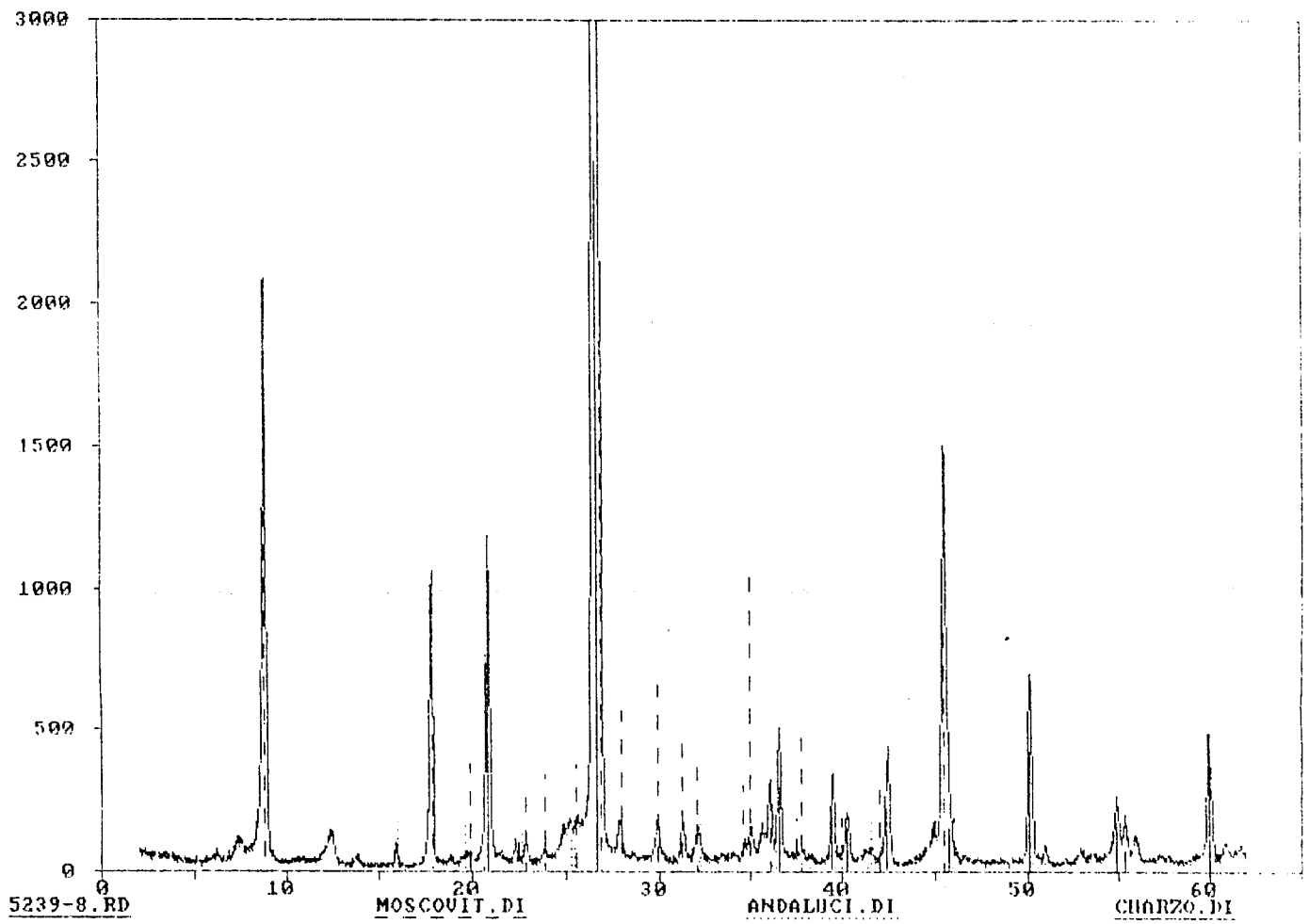
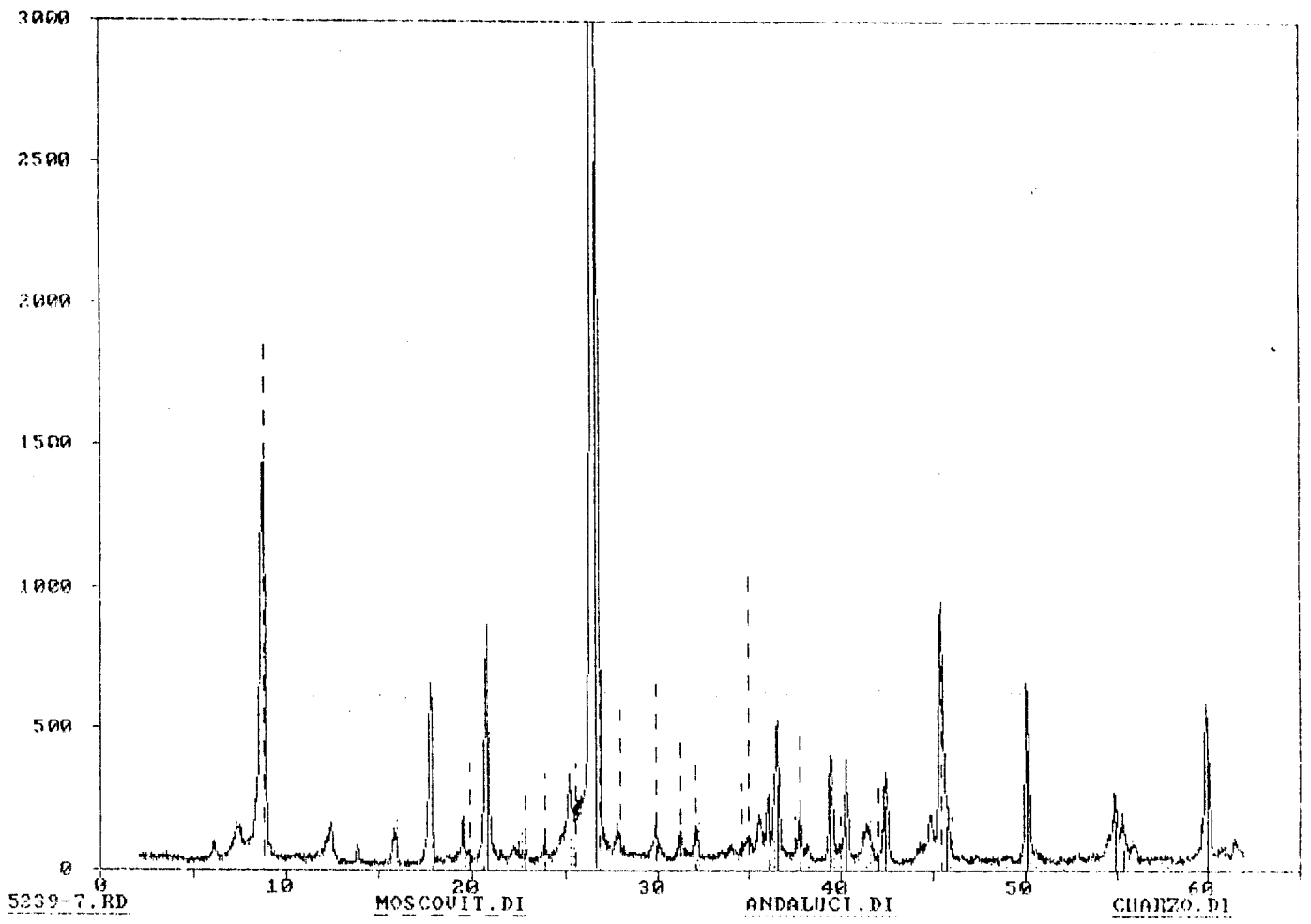
Dicha reflexión colapsa con el tratamiento térmico, pero no sufre hinchamiento al ser tratada con Etilenglicol en fase de vapor y Glicerina, por lo que se ha identificado como SEPIOLITA descartándose que sea ESMECTITA.

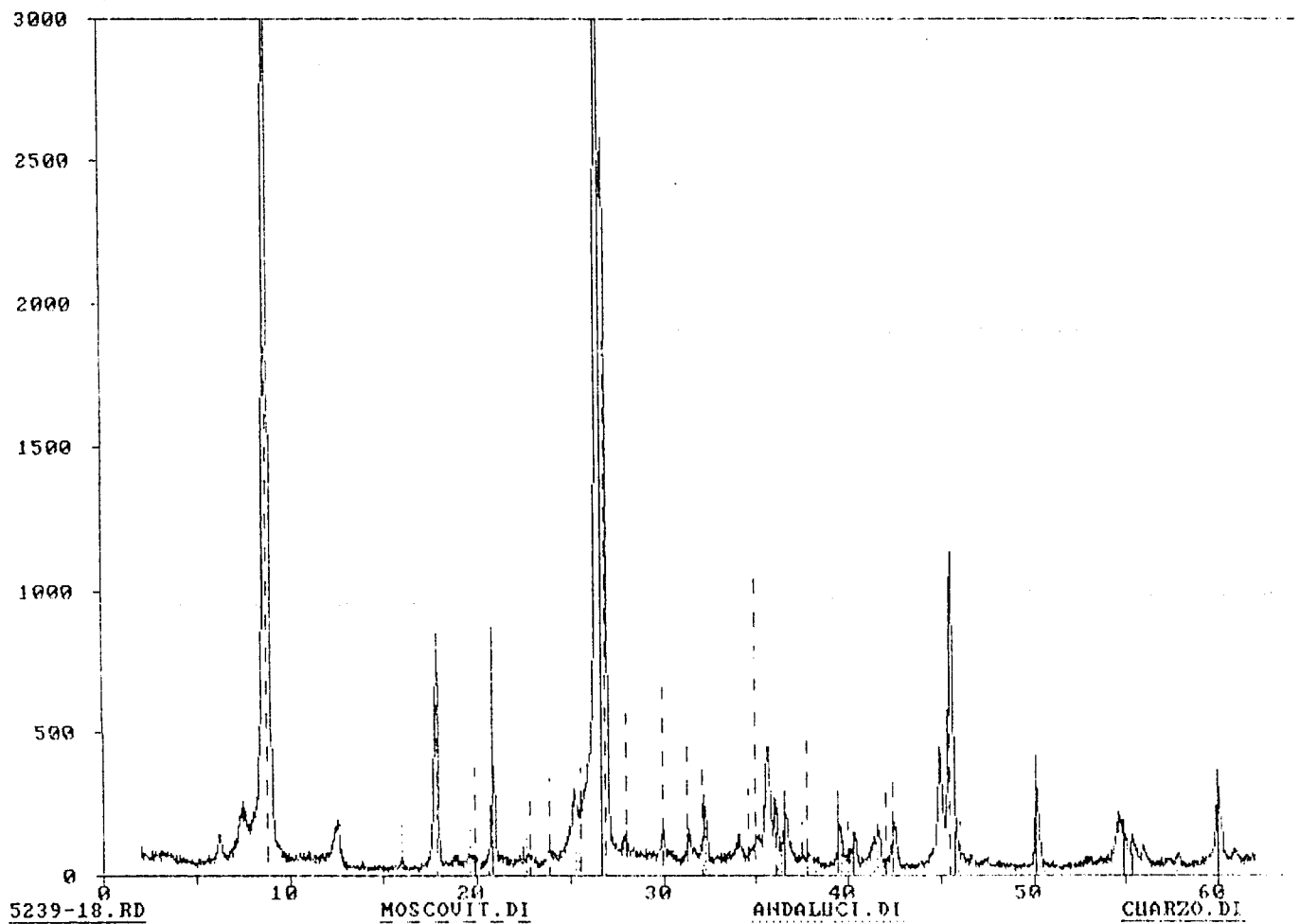
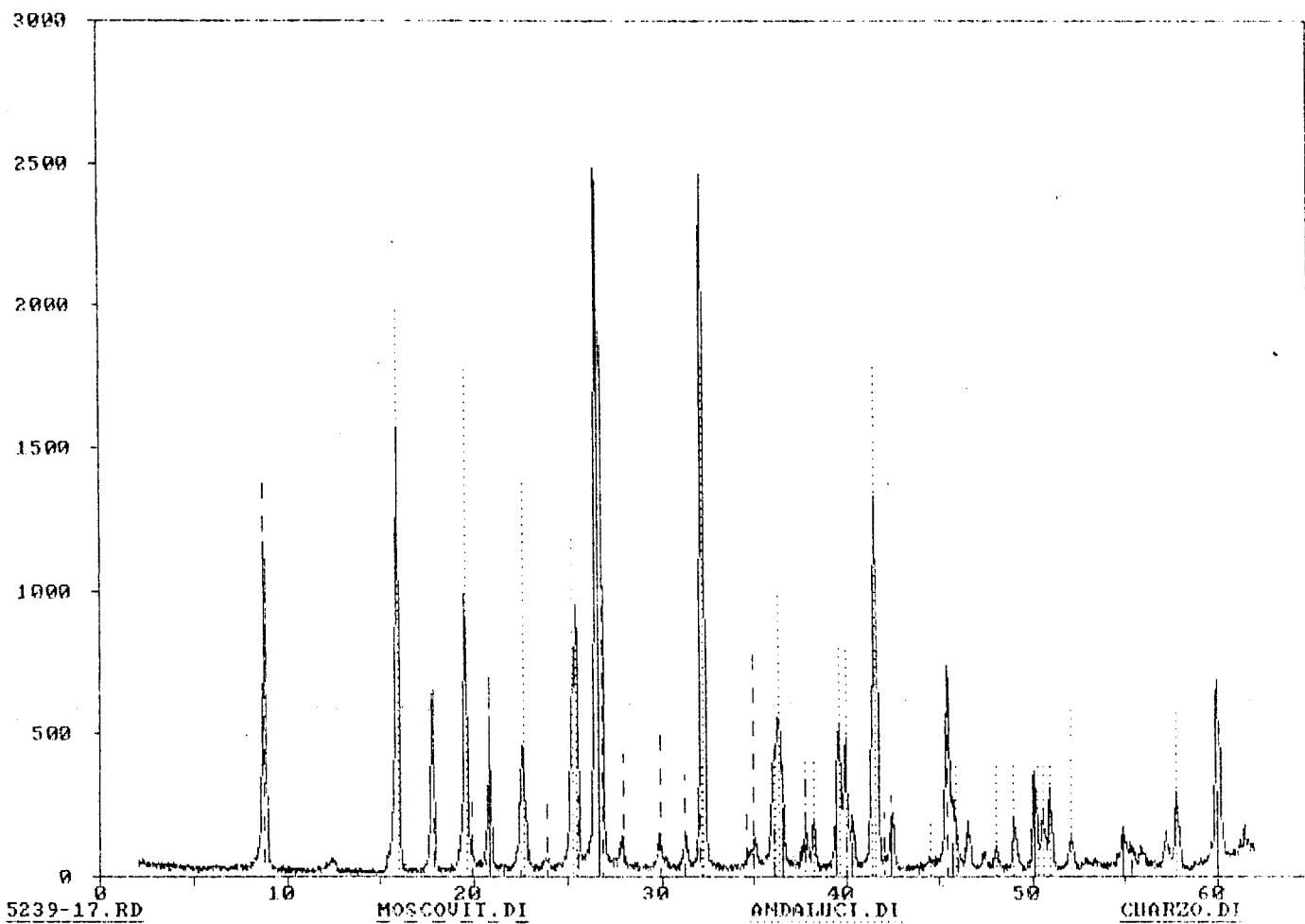
Sería conveniente que se nos remitiera mas cantidad de muestra sin molar, de algunas de las muestras arriba señaladas para efectuar una identificación mas segura.

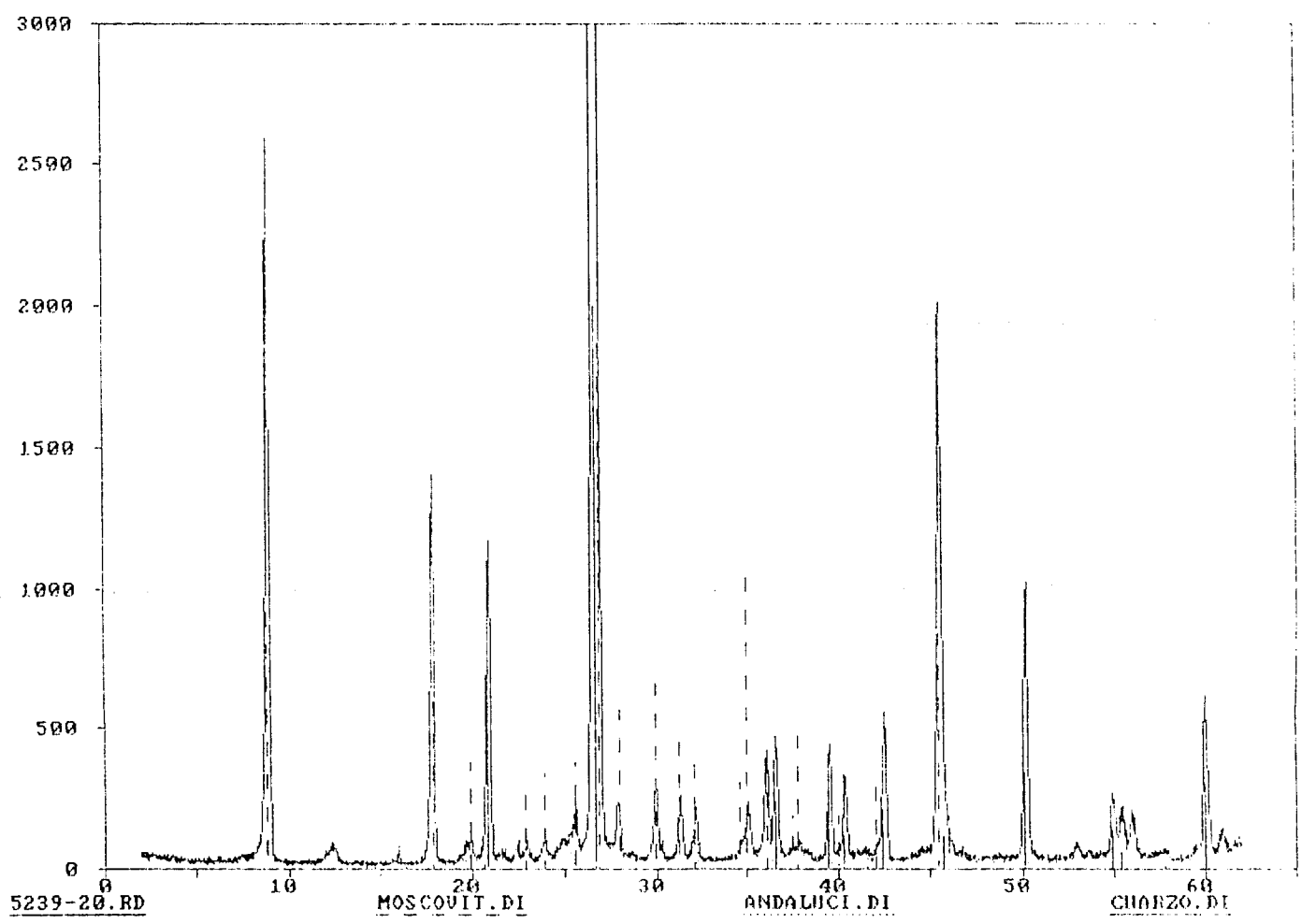
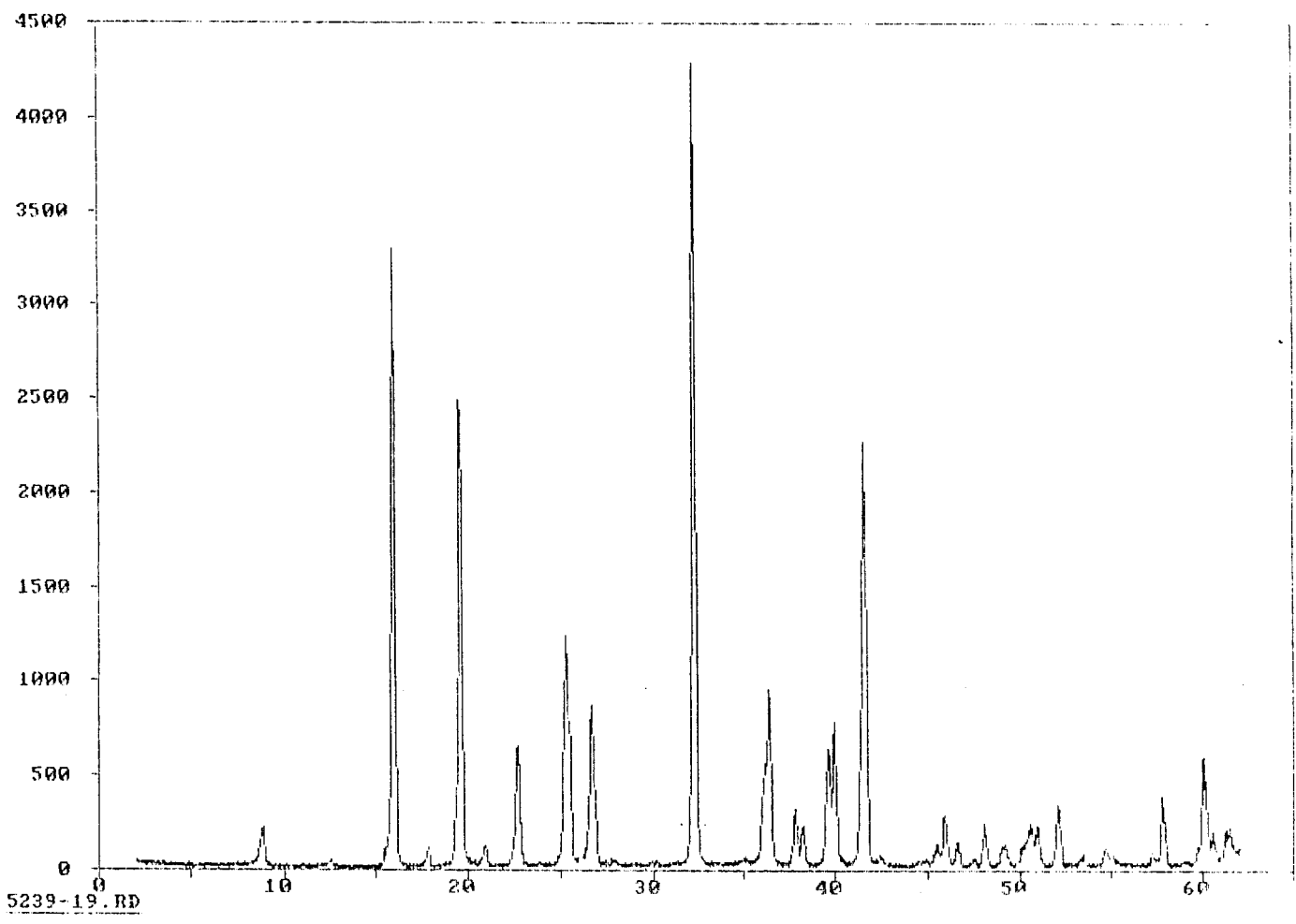


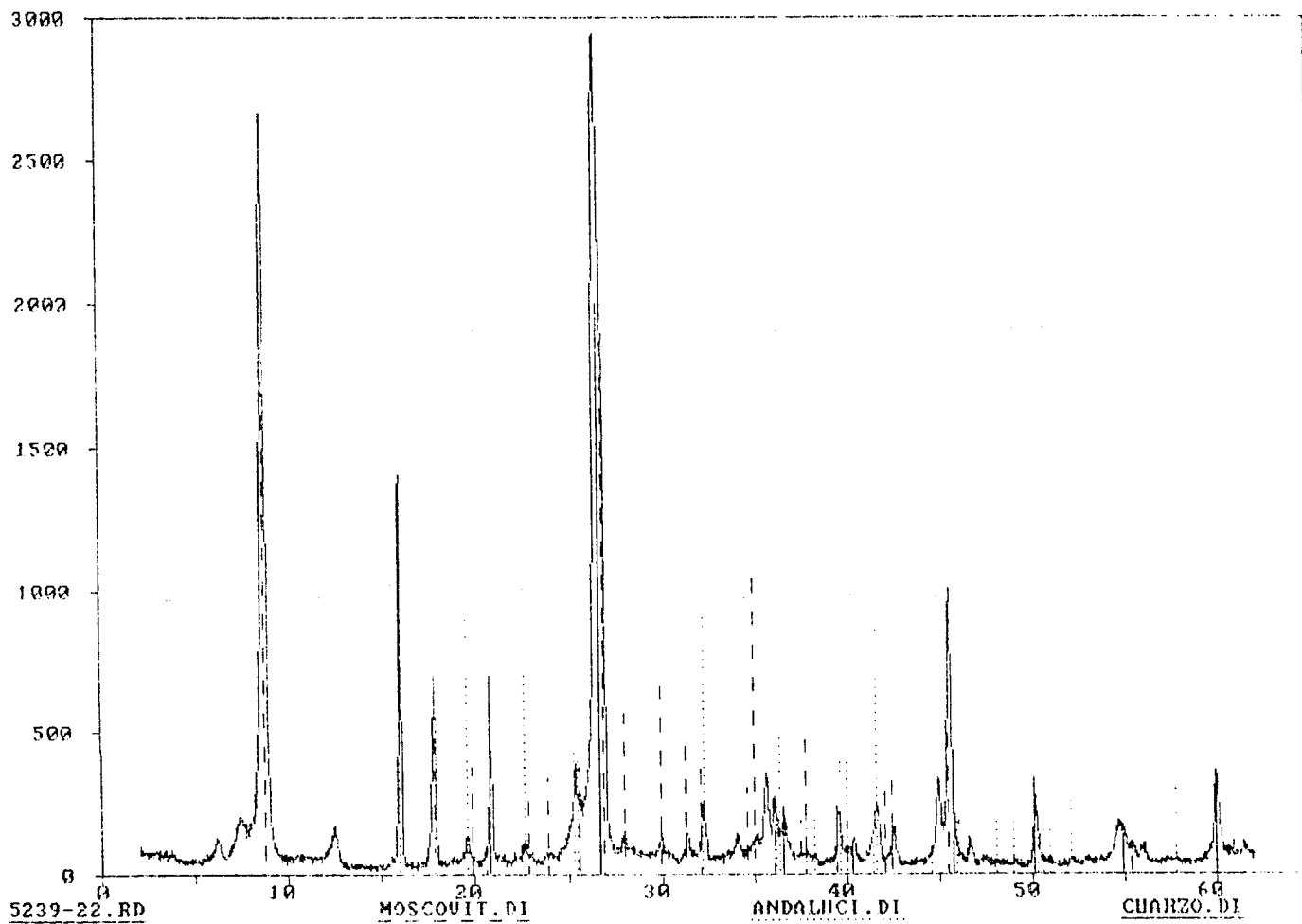
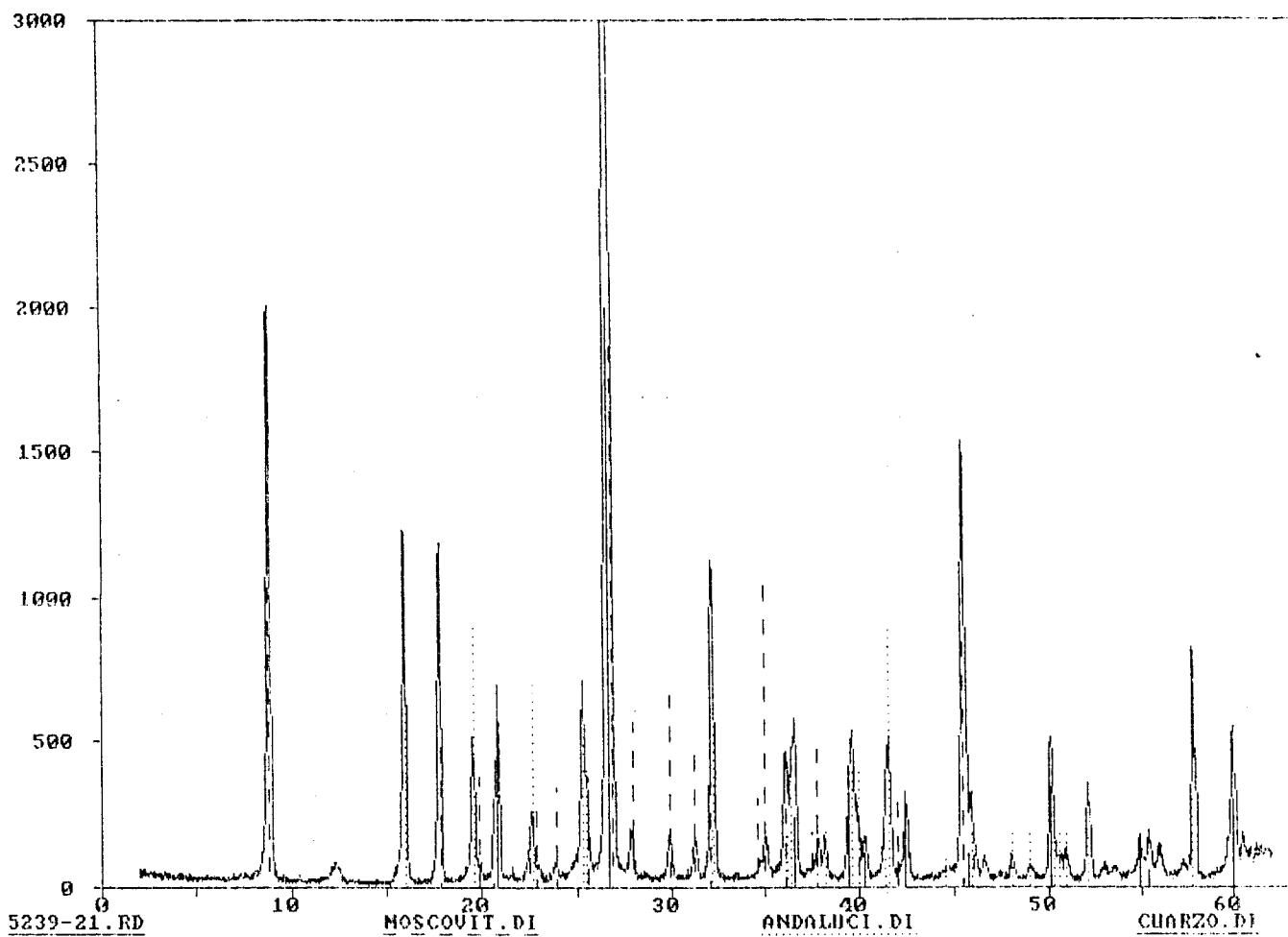


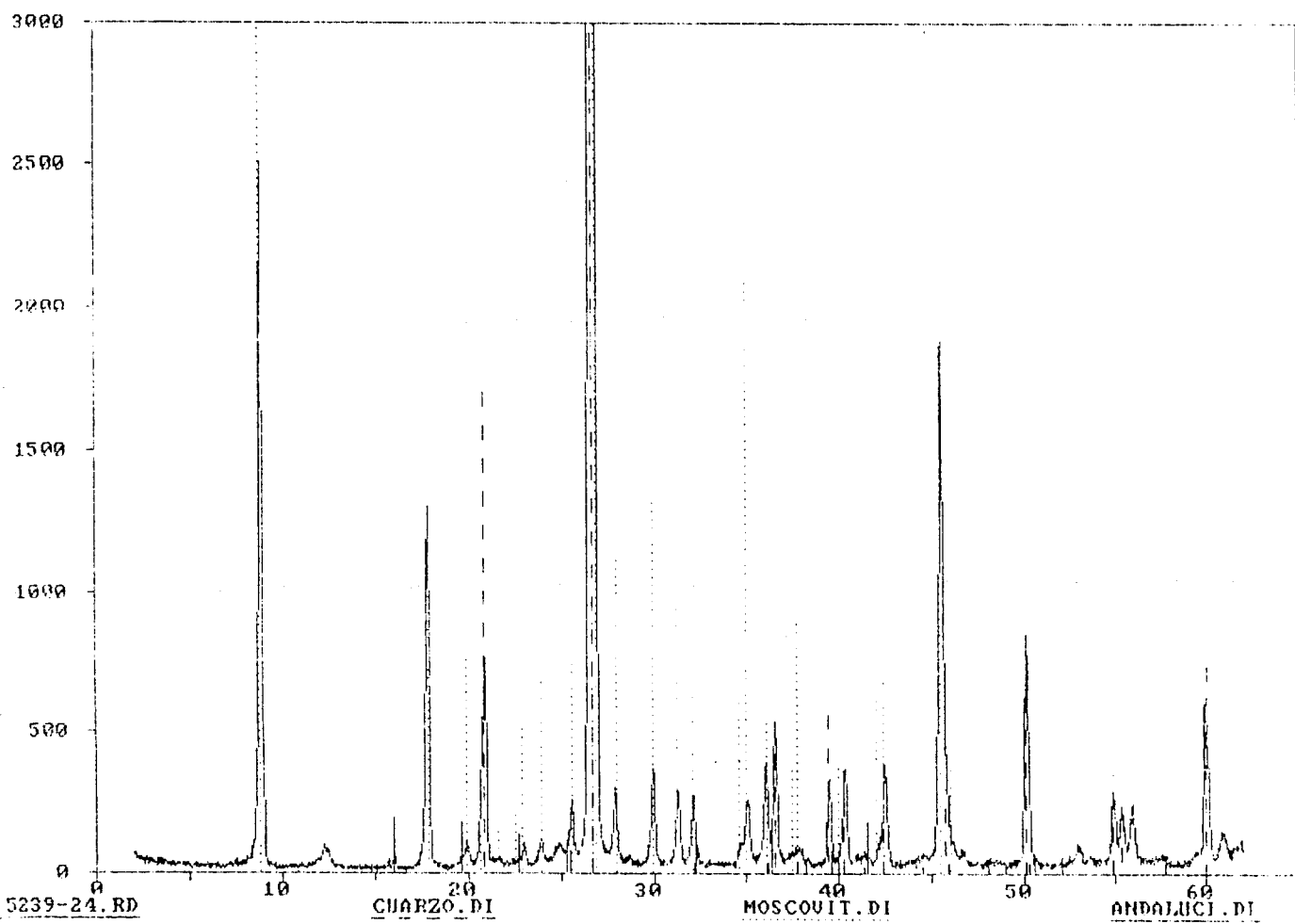
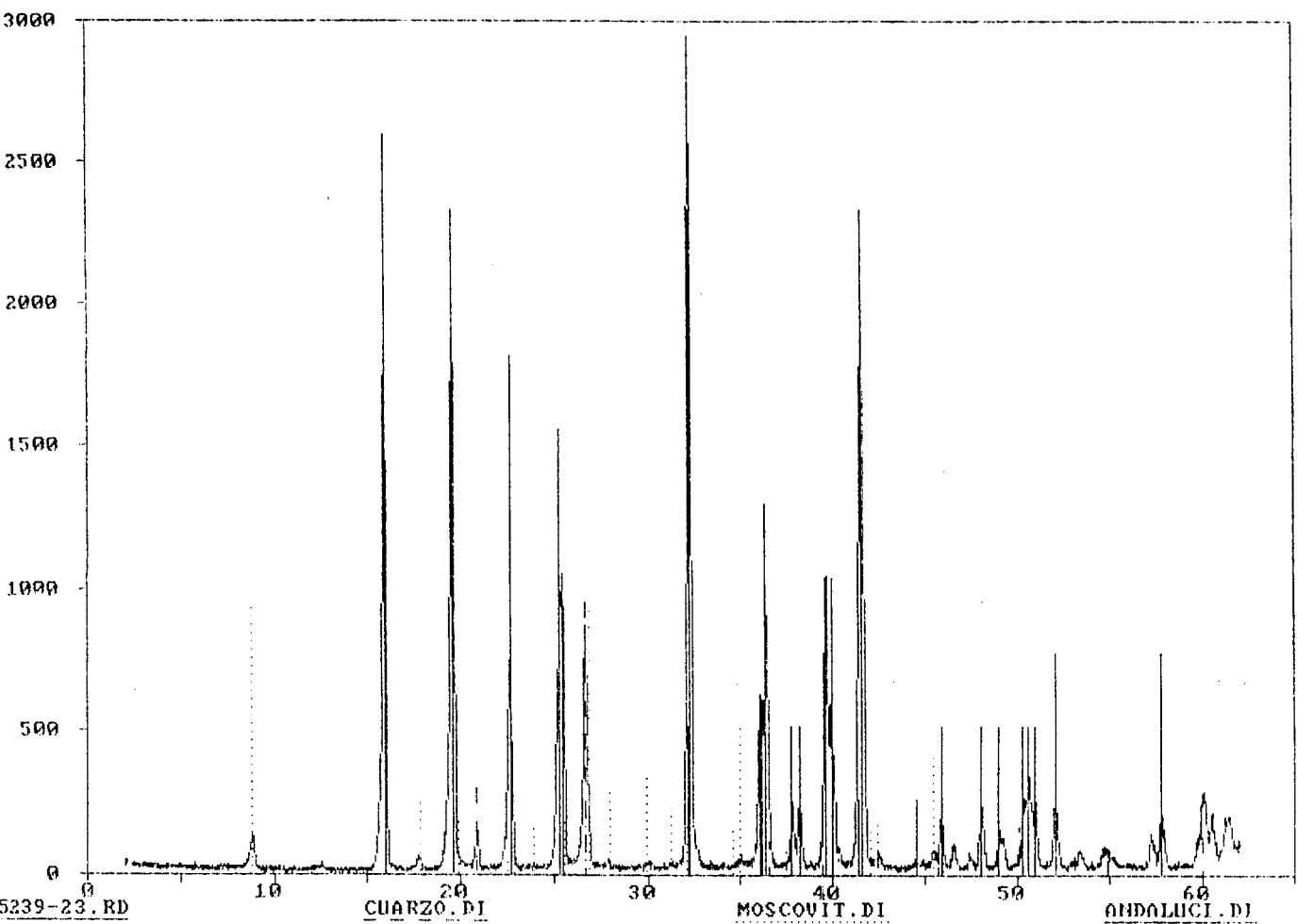


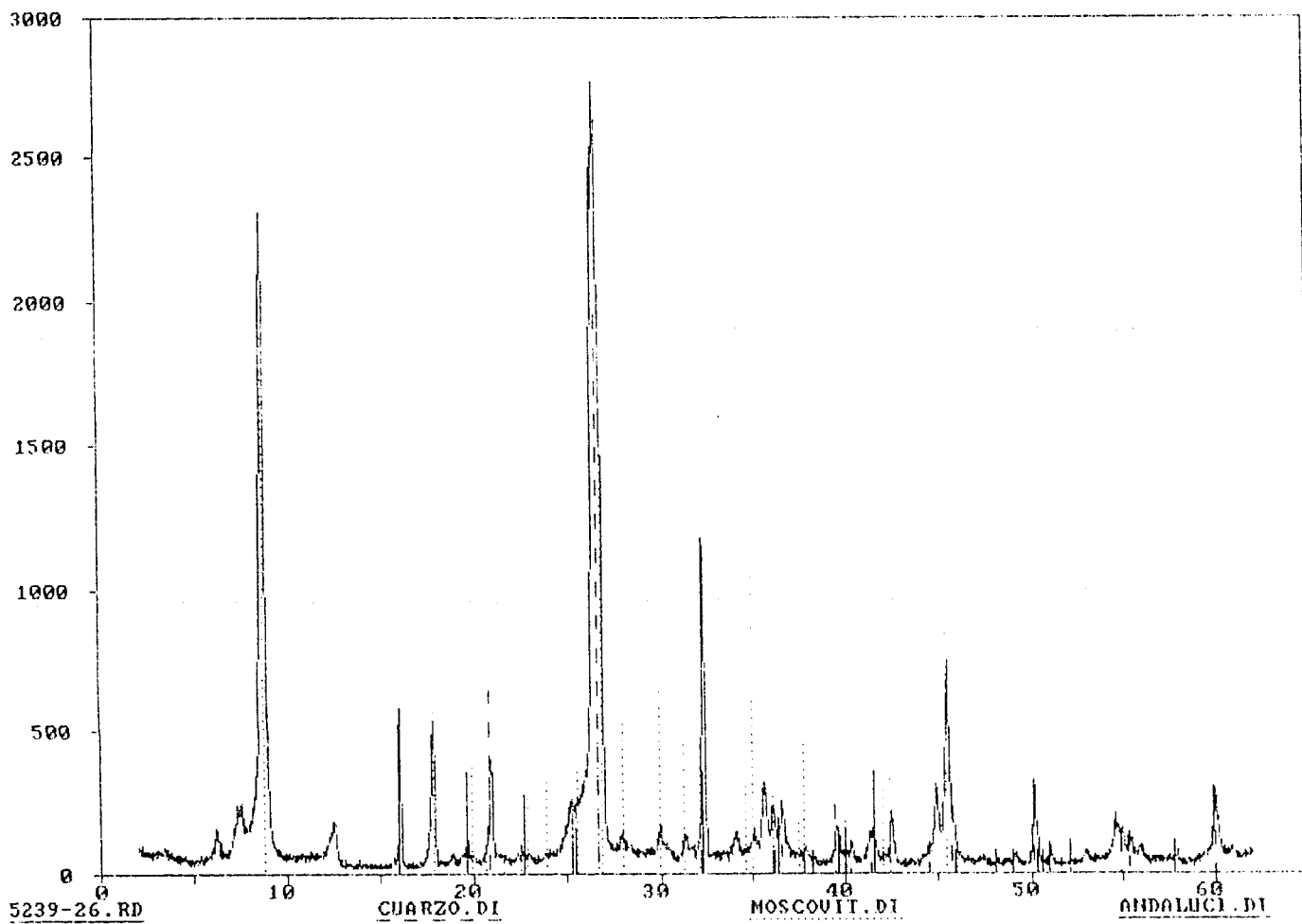
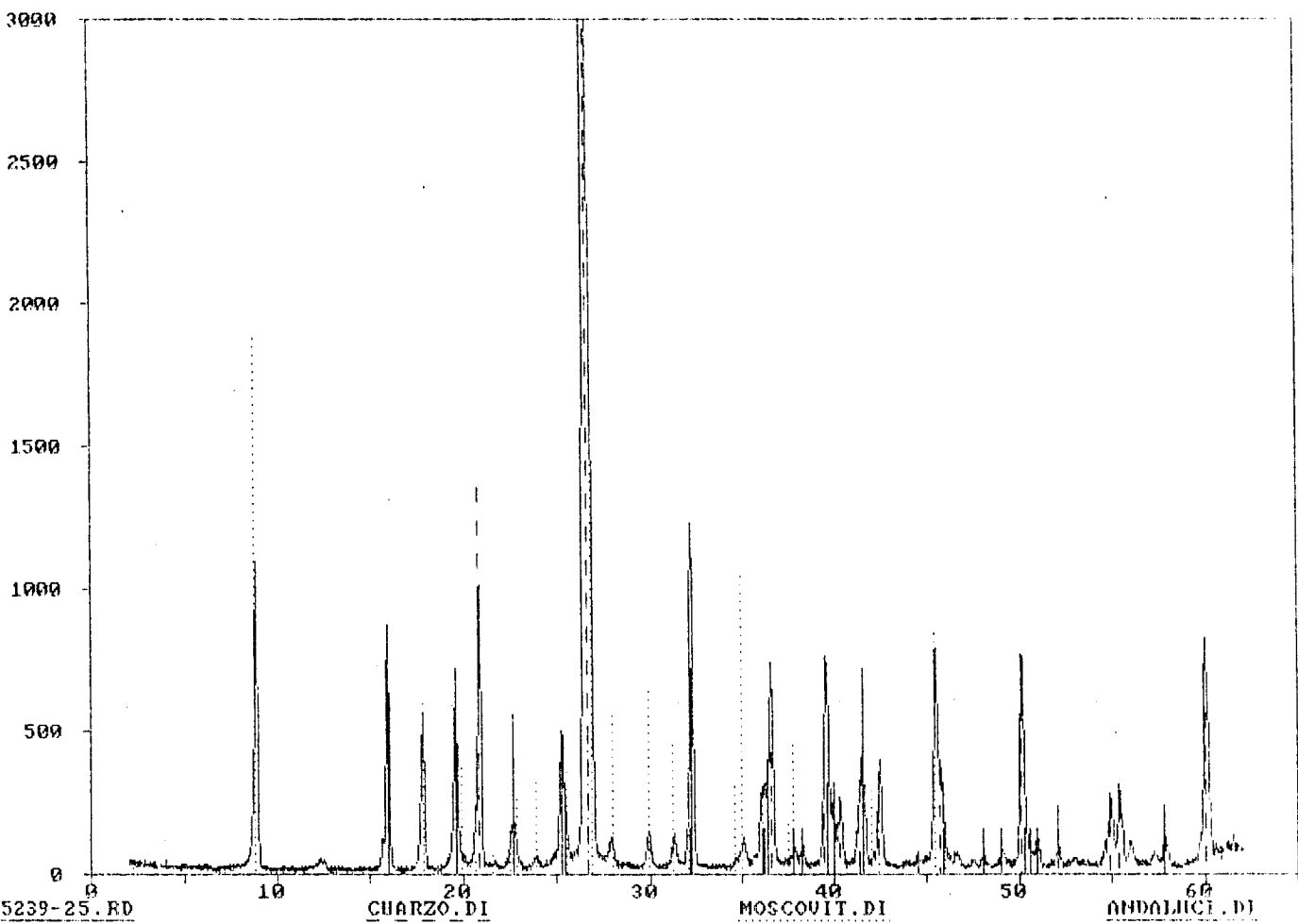


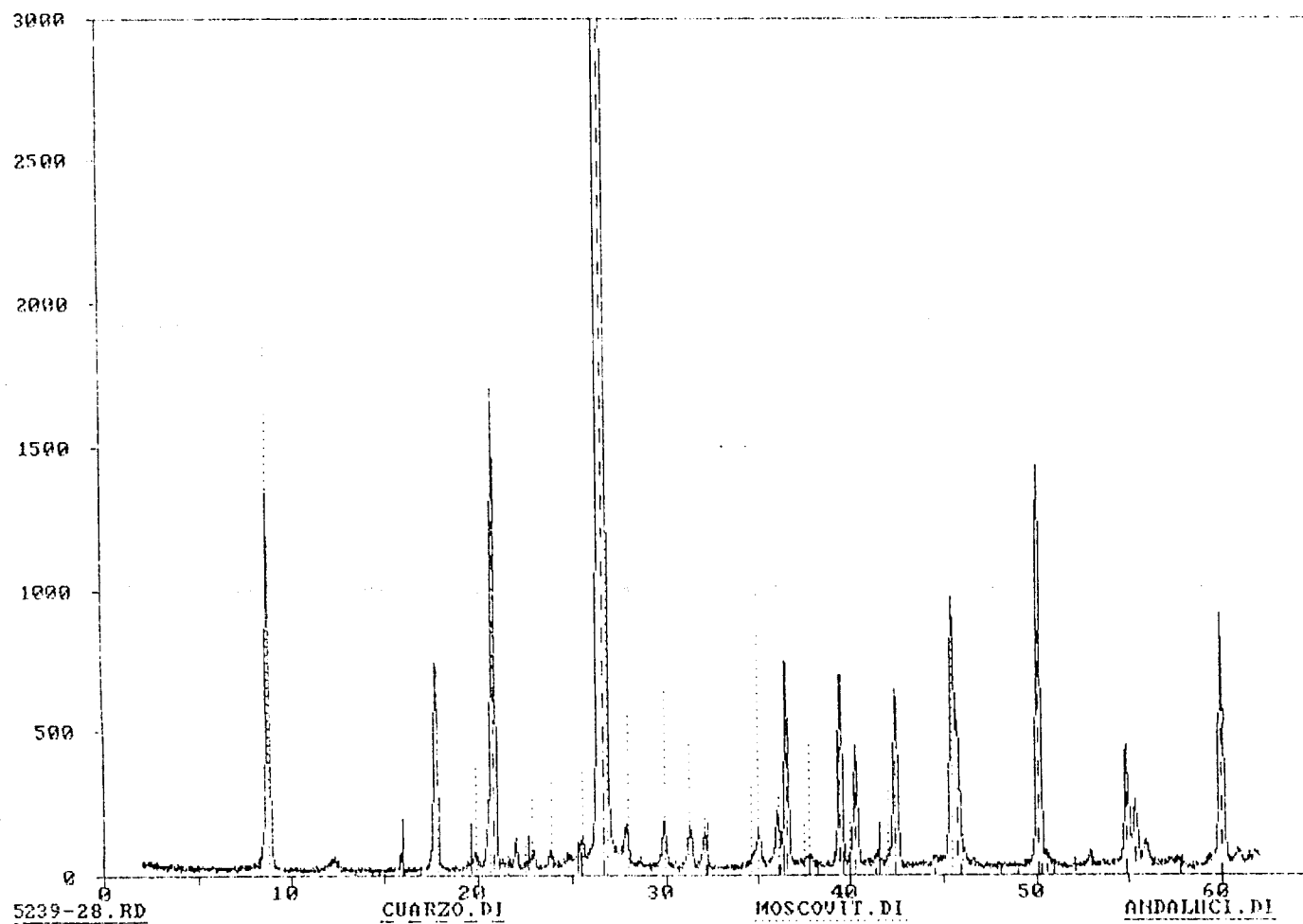
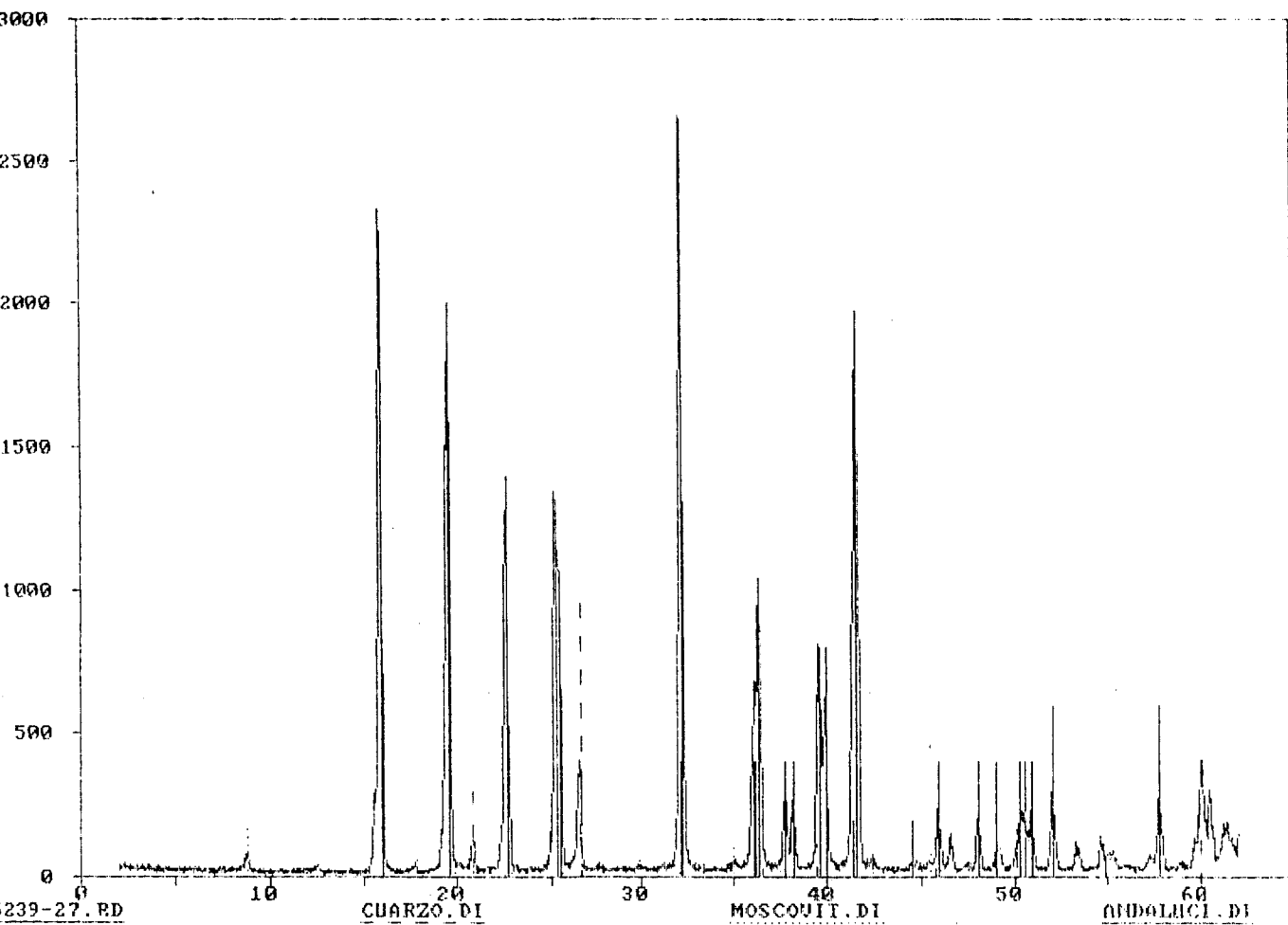


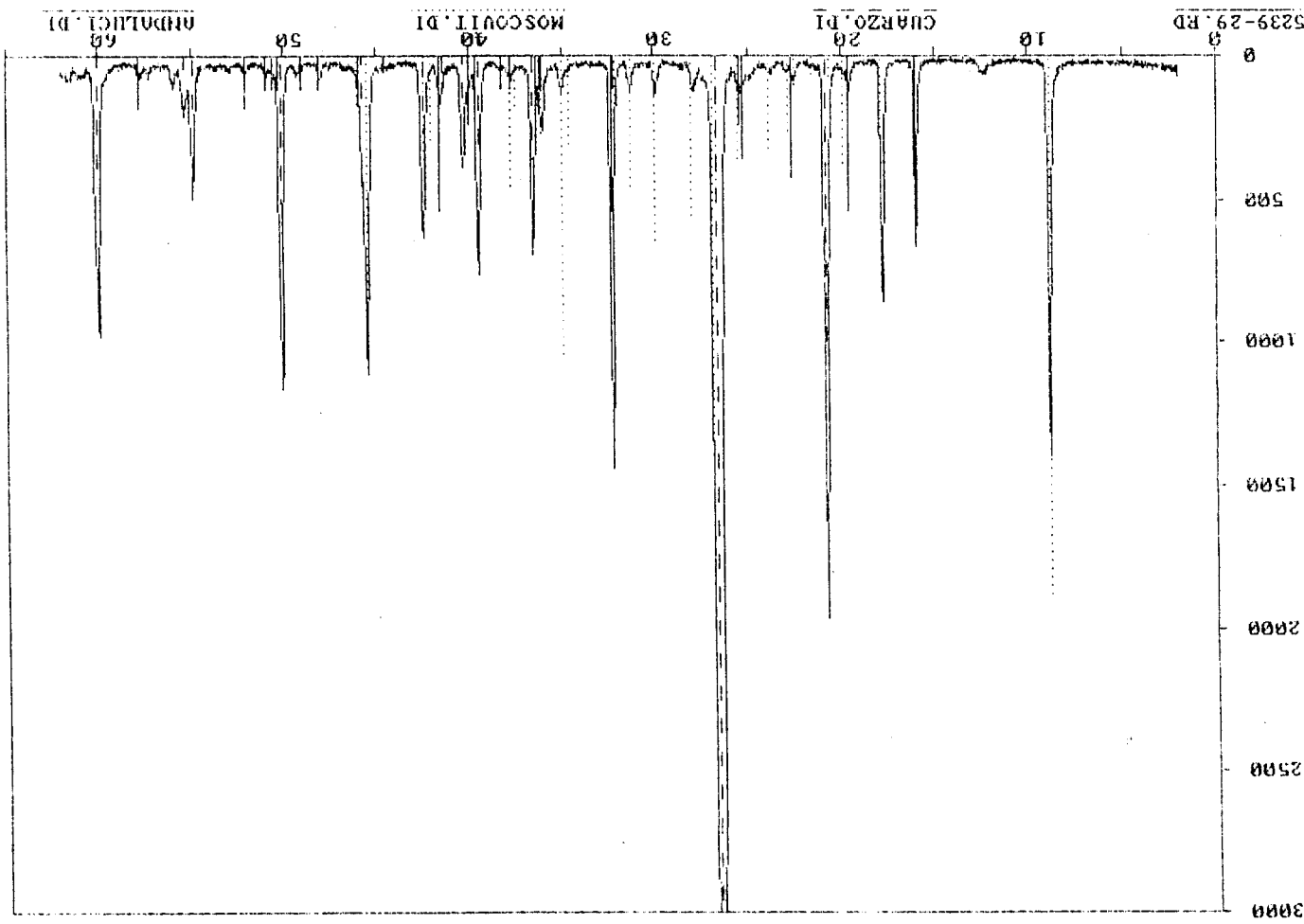
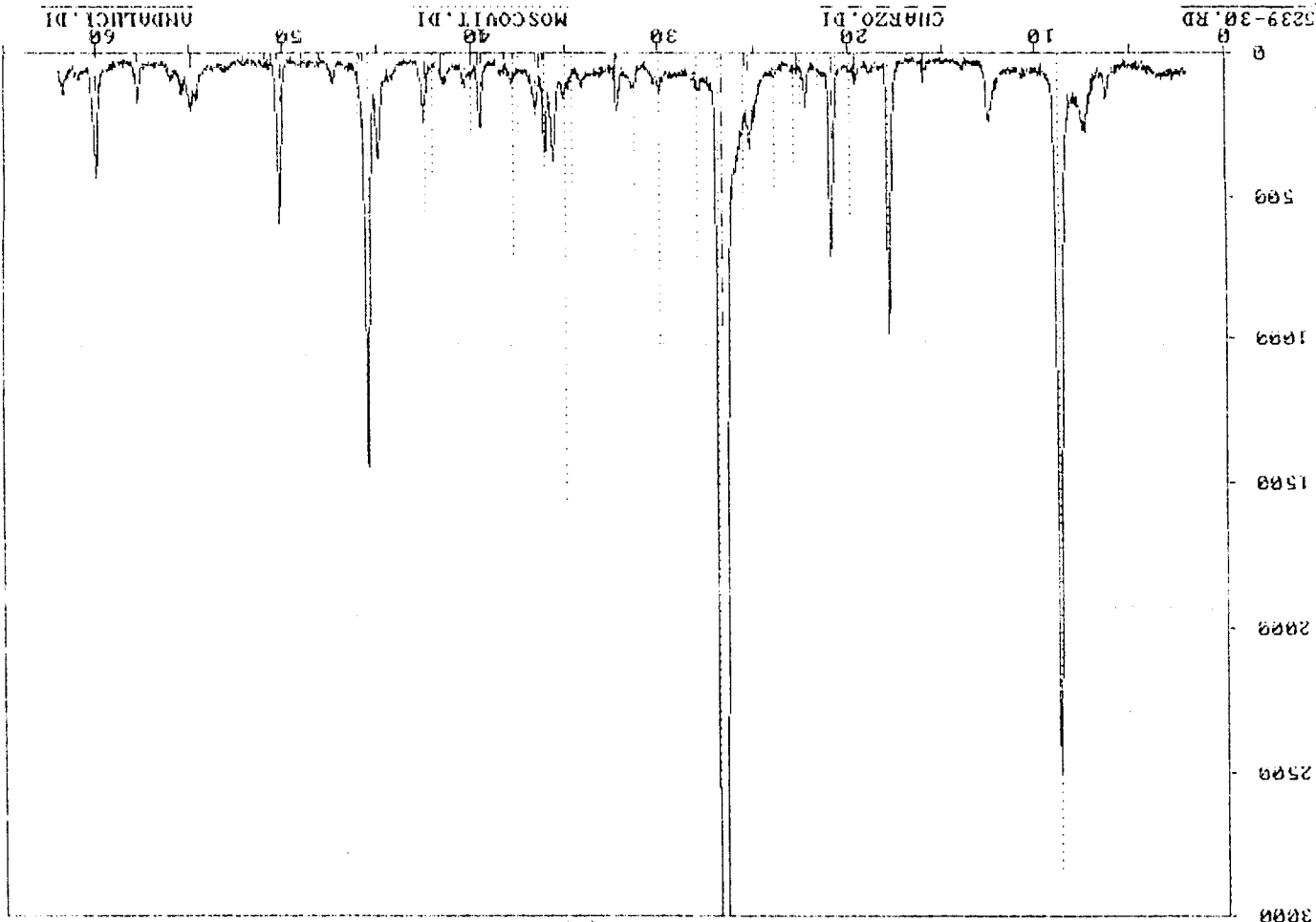


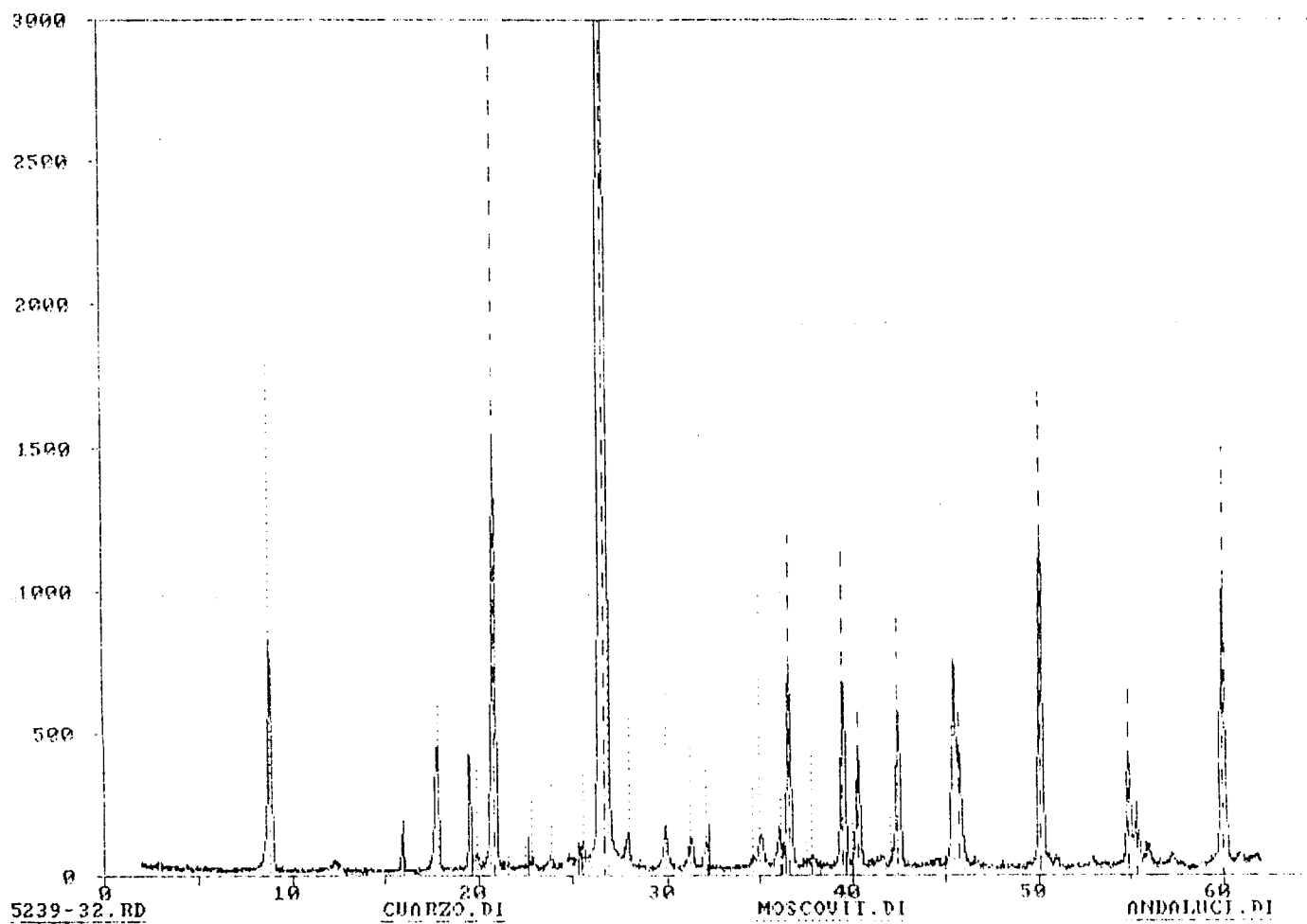
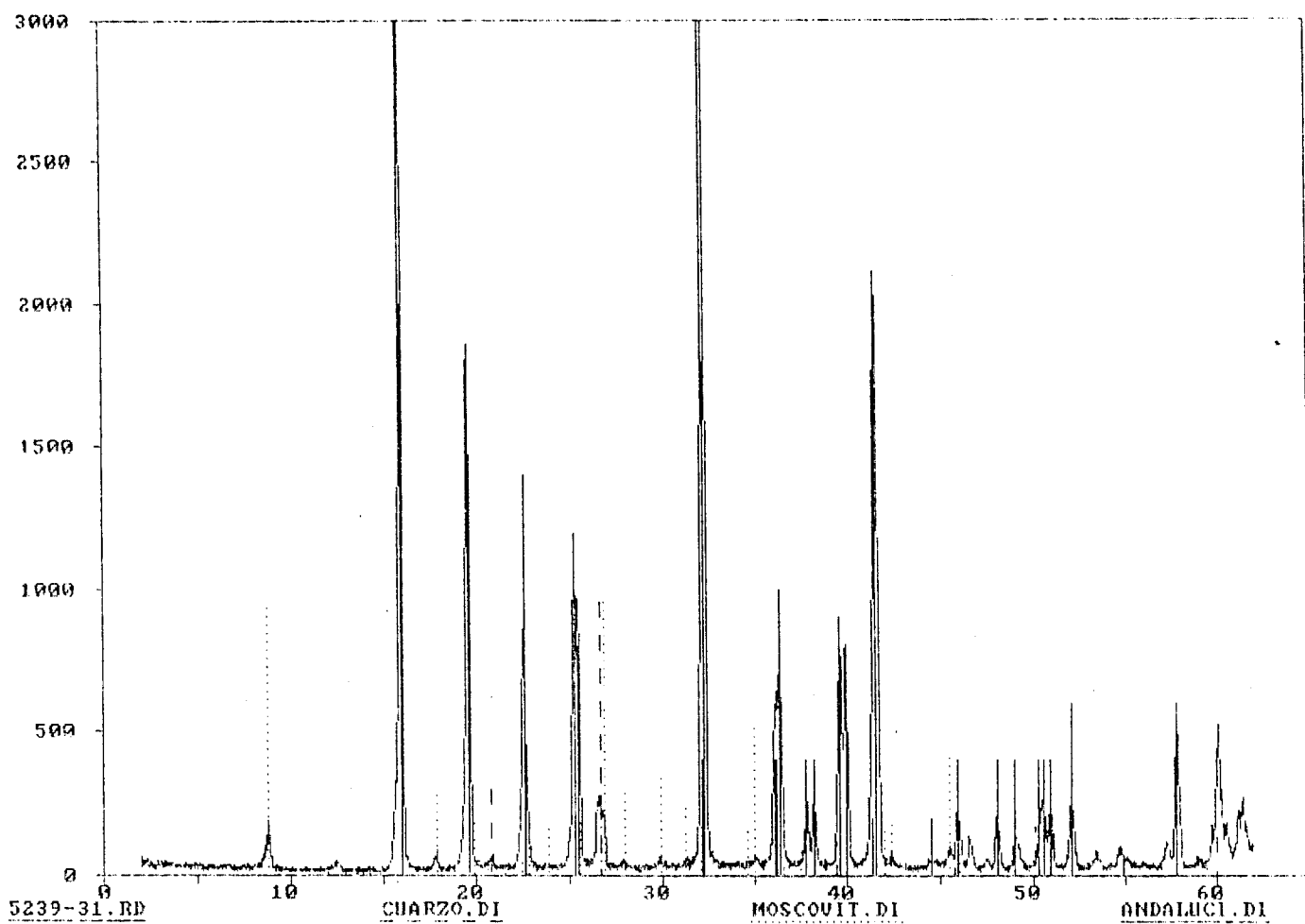












COMPARACION MINERALOMETRIA - ANALISIS QUIM. - DRX

Clase μ	Fracc.	Andalucita			Cuarzo		Micas			Ag.mic.+And.		
		AQ (1)	MM	DRX	AQ	DRX	AQ (2)	MM	DRX	AQ	MM	DRX
-4750+2000	TU	33,11	(10)	P		S	42	(80)	P			5
-2000+1000	TU	18,11	15	S		S	52	75	P			5
	M											
	NM	67,29	65	P		S	14	20	S			5
	NMD	89,94	88	P		AT	8	2	AT			-
-1000+500	TU	16,05	(3)	S		S	55	(90)	P			2
	M			S		S			P			
	NM	53,85	77	P		S	24	13	P			-
	NMD	90,80	87	P		AT	3	3	AT			-
-500+250	TU	18		S		S			P			
	M			S		S			P			
	NM	45,87		P		S			P			
	NMD	95,31		P		AT			AT			
-250+106	TU	13,42		S		S			P			
	M			AT		S			P			
	NM	15,39		AT		P			S			
	NMD	92,27		P		AT			AT			

Fracciones:

TU = todo-uno
M = magnético
NM = no magnético
NMD = no magnético denso
NML = no magnético ligero

Determinaciones:

AQ = valor calculado a partir de análisis químicos
MM = mineralometría
DRX = difracción de rayos X (semicuantitativo):
P = principal
S = secundario
AT = accesorio-trazas

(1) Empleando la relación indicada en el apartado 4.1

(2) Considerando total K₂O en micas; teórico mica 8% K₂O

Entre paréntesis, valores discrepantes.

ANEXO 5 .- ESTUDIO DE MICROSONDA



CENTRO DE LABORATORIOS Y ENSAYOS ITGE.
LABORATORIO DE MICROSONDA.
Informe: STL 5623

ESTUDIO DE INCLUSIONES EN ANDALUCITAS

Este estudio ha consistido en la localización e identificación de inclusiones en varios granos de andalucita.

Una vez preparada la probeta, y tras ser metalizada con una delgada capa de grafito por evaporación a alto vacío, a fin de hacerla conductora, se sometió a estudio en la microsonda electrónica usando el sistema de dispersión de energías.

El equipo utilizado es de la firma ARL, modelo SEMQ2, y las condiciones instrumentales: 25 kV como potencial acelerador de los electrones, 1 nA como corriente de sonda y 20 s en cada análisis.

Antes de proceder a la búsqueda de inclusiones, se identificaron los granos de andalucita, uno a uno, usando como referencia un patrón de cianita. Posteriormente, se estudiaron las inclusiones detectadas en la pantalla por medio de la imagen de electrones retrodispersados (I.E.R.) que es la que mejor aprecia los cambios de composición, hallándose las siguientes especies minerales: **ilmenita, biotita, cuarzo, xenotima y apatito**, estando comprendido el tamaño de las tres primeras entre 20 y 30 μm , y siendo el de las dos últimas inferior a 10 μm .

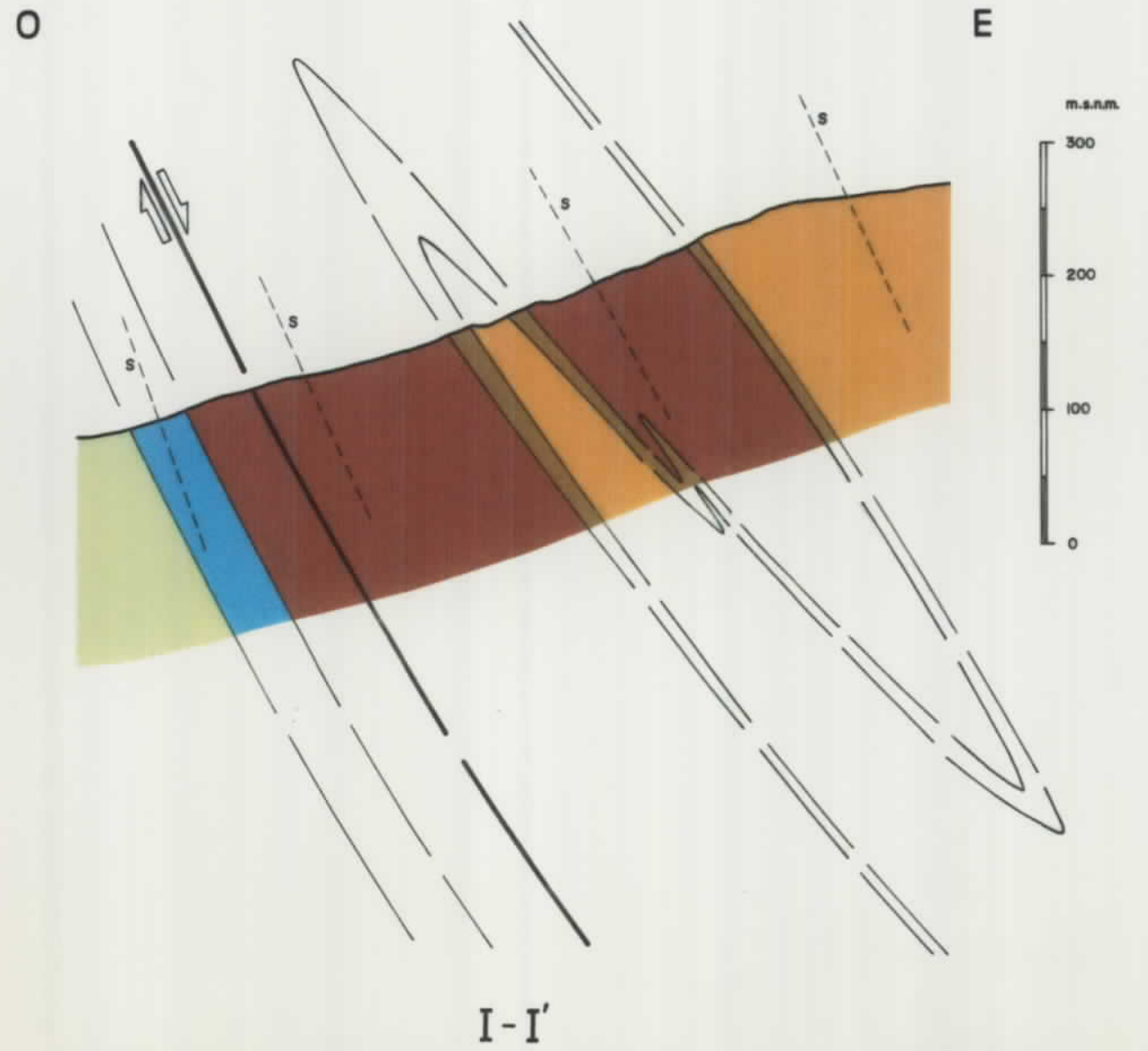
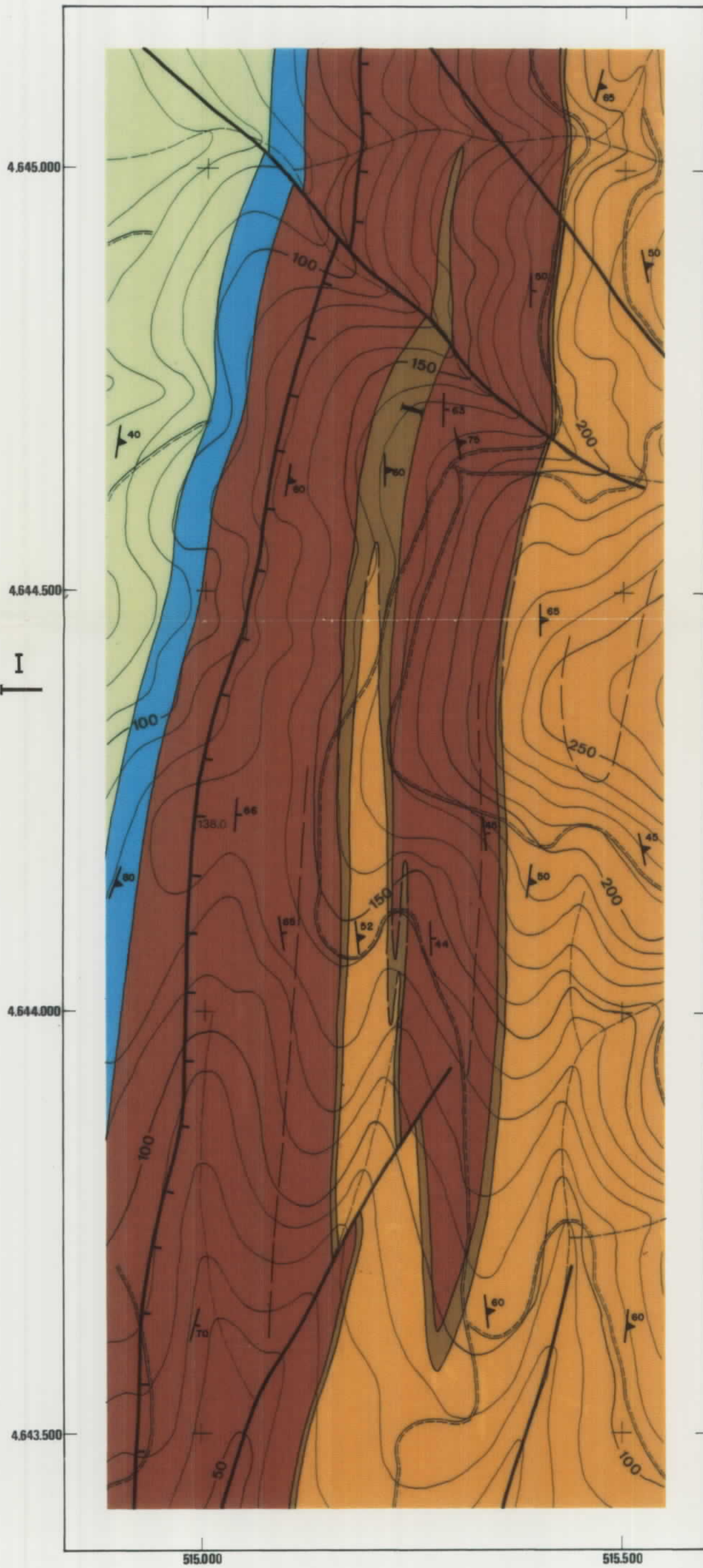
Algunas supuestas inclusiones que se veían al microscopio pero no en la I.E.R. resultaron ser manchas de metalizado defectuoso.

Aparte de las inclusiones mencionadas, se detectaron grandes granos (> 100 μm) de sericita o moscovita y biotita, adheridos a algunas andalucitas.



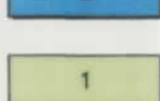

Madrid, 2 de marzo de 1992










ANEXO 6 .- PLANO



LEYENDA

- | | | |
|-------------------------------|--|---|
| ORDOV. - SILURICO
CAMBRICO | 
4 | 4 UNIDAD IV
Micasquistos grises, frecuentemente con poi-
quiblastos de andalucita
En la base, micaesquistos gris-oscuros con
quistolita (andalucita de tipo 3) - (mq) |
| | 
3 | 3 UNIDAD III
Esquistos y micaesquistos alternantes, con
algunas intercalaciones de cuarcitas y es-
quistos grafitosos |
| | 
2 | 2 UNIDAD II
Micasquistos y esquistos andalucíticos gris-
oscuros |
| | 
1 | 1 UNIDAD I (COMPLEJO ESQUISTO-GRAUVAQUICO)
Micasquistos grises con intercalaciones de
esquistos, metareniscas y metaconglomerados |

SIMBOLOS

- | | |
|---|-------------------------------|
|  | Estratificación (So) |
|  | Foliación principal (S) |
|  | Contacto litológico |
|  | Trazado de capas |
|  | Falla |
|  | Falla normal |
|  | Roza donde se tomó la muestra |



DIBUJADO J.M.T., A.G.		PROYECTO ESTUDIO DE CONCENTRACION DE ANDALUCITAS DE O ROSAL	
FECHA DIC / 92			
AUTOR J.M. TOYOS		MAPA GEOLOGICO - MINERO DEL SECTOR EN EL QUE SE TOMO LA MUESTRA	
ESCALA 1: 5.000		PLANO Nº 1	