



## Aportación al conocimiento del cuarzo en Galicia

### Contribution to an understanding of quartz in Galicia

CRABIFFOSSE, S.; FERRERO, A.; MONGE, C.

El cuarzo en Galicia es un mineral de gran importancia, siendo la principal Autonomía productora y exportadora de España. Fundamentalmente el cuarzo de Galicia se emplea en la fabricación de ferroaleaciones y, como subproducto, para áridos. El creciente interés de esta materia prima en la fabricación de nuevos materiales, que se suponen de gran importancia para el desarrollo tecnológico del futuro (electrónica, cerámicas avanzadas, placas solares, etc.) de gran valor añadido, así como en la industria del vidrio inciden en la conveniencia de un estudio detallado del cuarzo existente.

**Palabras clave:** Cuarzo, Ferroaleaciones, Galicia.

Quartz is a very important mineral in Galicia, this region being the principle producer and exporter in Spain. The quartz produced in Galicia is mainly used in the production of ferroalloys and as subproduct for use in aggregates. The growing interest in this raw material for the production of new materials with a large added value which, it is supposed, will play an important part in future technological growth (electronics, advanced ceramics, solar plates, etc.) and also in the glass industry, influences the need to make a detailed study of the quartz that actually exists.

**Key words:** Quartz, Ferroalloys, Galicia.

Aunque la sílice es una sustancia mayoritaria en la corteza terrestre, solamente un pequeño porcentaje de ésta se comercializa, dado que la industria consumidora requiere especificaciones muy estrictas, tanto físicas como químicas y mineralógicas.

El cuarzo es una forma de sílice que se presenta en la naturaleza como componente mayoritario y casi exclusivo de arenas, gravas, areniscas, cuarcitas y cuarzo cristal.

Sus aplicaciones son múltiples; construcción, abrasivos, vidrios, cerámicas, refractarios, silicio-metal y ferrosilicio, en elementos ópticos y electrónicos, etc. tal como se indica en la Fig. 1.

Se detallan a continuación los procesos industriales en los que interviene el cuarzo como materia prima y se comentan a nivel indicativo algunas especificaciones generales que debe de cumplir el mineral para poder ser utilizado en cada proceso.

### Vidrios

La sílice, en forma de arenas silíceas, es el único componente primario en la fabricación del vidrio.

Las especificaciones requeridas en las arenas silíceas empleadas varían de acuerdo con el tipo de vidrio, con la condición general de mantener una granulometría y composición química muy estricta y constante. Para vidrio plano debe de tener más del 99 % de  $\text{SiO}_2$  (aunque son aceptables valores más bajos, hasta el 96 %, si la variación es inferior al 0,3 %). En cuanto a su composición granulométrica, debe contener como máximo entre un 2-3 % de la fracción superior a 80 micras. Para vidrio coloreado el contenido en  $\text{SiO}_2$  no es tan crítico, siendo muy importante la uniformidad composicional. En el vidrio transparente los contenidos de hierro y cromo han de ser mínimos.

### Ferrosilicio y silicio-metal

La aplicación más importante del cuarzo en Galicia es, en la actualidad, como materia prima para las ferroaleaciones (ferrosilicio y el silicio-metal). En ambas aplicaciones el cuarzo utilizado es de granulometría comprendida entre 30 y 120 mm. Los campos de aplicación del ferrosilicio y silicio-metal en la industria son los siguientes:

— En la industria siderúrgica como desoxidante en las coladas de afino del acero, como aleación o como reductor de metaloides en la escoria.

— En los compuestos de hierro de fundición y acero, (hasta el 15 % de ferrosilicio).

— En la preparación de medios densos empleados en el lavado de carbones y en la separación por densidad de varios minerales.

— En las aleaciones con aluminio (hasta un 30 % de sílice).

— En las aleaciones con cromo, níquel y otros metales.

— En las siliconas.

— En las «cermets» (cerámicas especiales).

— En las células fotovoltaicas.

— En los circuitos integrados.

— En los chips.

### Carburo de silicio

Es producido por calentamiento de una mezcla de harina de sílice y coque de petróleo a unos 2400°C en un horno eléctrico. El carburo de silicio se utiliza como desoxidante en metalurgia y en abrasivos.

### Silicato de sodio

Es producido por fusión de arenas silíceas con una combinación de  $\text{CaO/MgO}$  en un 0,05 % y  $\text{NaCO}_3$  a 1200-1400°C. El

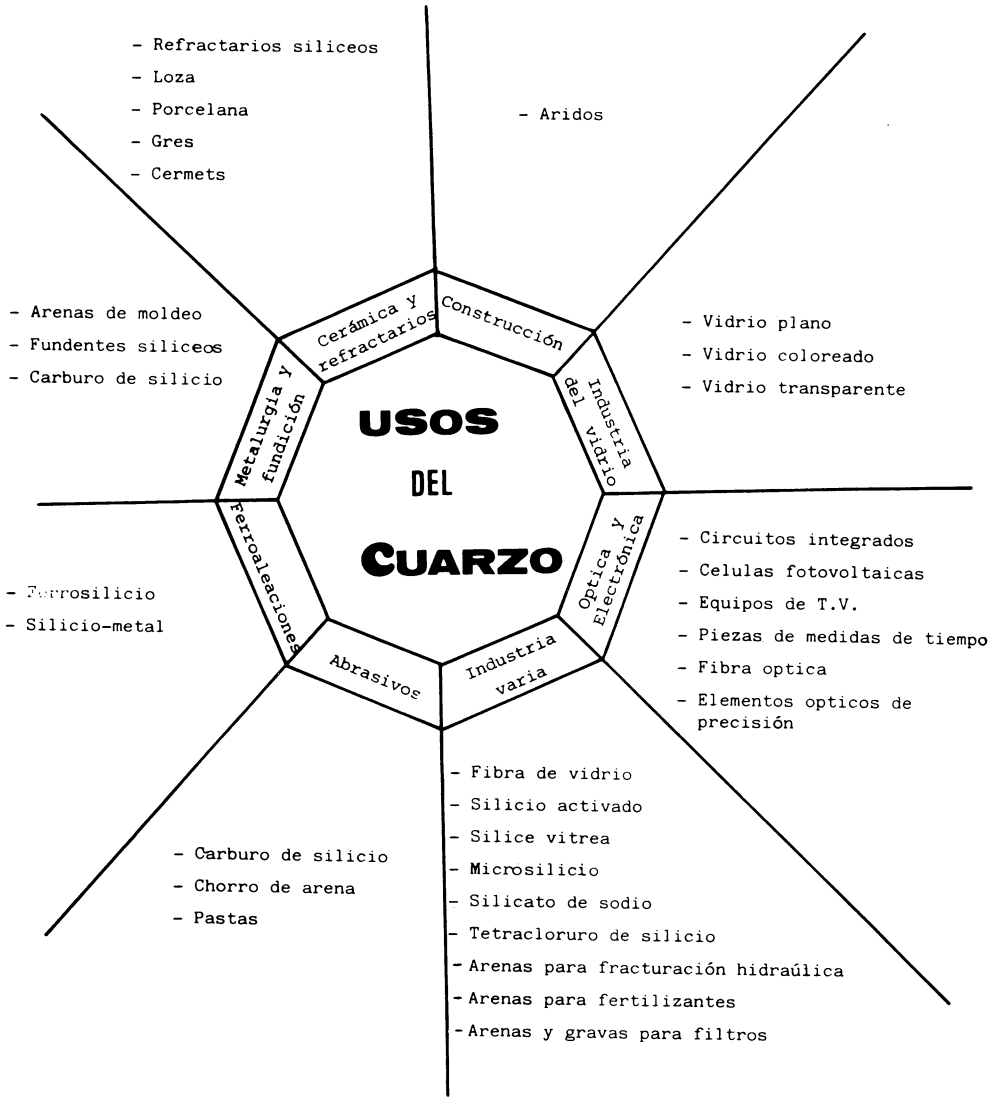


Fig. 1

silicato de sodio es usado en jabones para darles dureza y durabilidad, como un agente fijante en imprimación textil, como limpiador, etc.

Es materia prima en la fabricación de silicio activado.

### Elementos electrónicos y ópticos

En los últimos años se ha multiplicado, tanto en los usos como en su consumo, la

utilización de cristal de cuarzo en electrónica y óptica.

A mitad de la década de los 70, la industria del cuarzo-cristal, experimentó un boom debido al crecimiento de la demanda de las bandas de radio «citizen» y de los relojes de cuarzo. Aunque con un descenso en el consumo hasta 1983, fue en ese año en que la demanda de cristales de cuarzo aumentó enormemente, sobre todo en los sistemas de comunicación, piezas electrónicas

cas de medida de tiempo, ordenadores personales, microprocesadores, equipos de color de TV. A partir de 1980, el uso del cuarzo-cristal en sistemas ópticos empezó a aumentar constantemente. Los componentes ópticos fabricados a partir del cuarzo-cristal son requeridos para aplicaciones especializadas y es indispensable conocer la orientación cristalográfica del mineral.

En lo referente a los elementos electrónicos, la industria necesita como materias primas:

*Cuarzo cristal natural de grado electrónico.* Es un cuarzo sin defectos cristalográficos extraído de la mina y directamente utilizado en la fabricación de unidades piezo-eléctricas sin otro tratamiento. Se estima que el ratio de cristales aprovechables a cuarzo desechable está entre 1:1.000 y 1:1.000.000, dependiendo del tipo de yacimiento.

*Lasca.* Cuarzo cristal extraído de la mina, usado como nutriente en la fabricación del cuarzo «cultured». Es más importante la pureza en su composición química que su claridad óptica y su perfección cristalina.

Aproximadamente se requiere 0,63 Kg de lasca para producir 0,45 Kg de cuarzo «cultured».

El cuarzo «cultured» es un cristal artificial perfecto producido a partir de la lasca en un proceso de crecimiento del cristal en autoclave bajo condiciones de calor, presión y tiempo. Se estima que 0,45 Kg de cuarzo cultured es equivalente a 1,4-4,5 Kg de cuarzo cristal natural.

#### Fibra de vidrio

Para la fabricación de fibra de vidrio se utiliza cuarzo micronizado (< 0,5 mm); admite alto contenido en calcio, pudiendo ser añadido aluminio y boro.

#### Sílice vitrea

Por sus excelentes propiedades ópticas, eléctricas, térmicas y químicas, la sílice ví-

trea constituye un material de gran importancia en gran número de industrias de alta tecnología. Su preparación con los procesos convencionales de fusión es difícil y costosa, siendo necesarias temperaturas del orden de 2.000°C para proporcionar al fundido la viscosidad adecuada para el colado y conformación de los correspondientes productos. Este inconveniente, unido al gran interés que actualmente suscita este material, ha llegado al desarrollo de vías alternativas de preparación que impliquen mayor homogeneidad, pureza y temperaturas más bajas de procesamiento.

Es empleado fundamentalmente en la fabricación de fibra óptica y en los procesos sol-gel.

#### Fundentes silíceos

Las areniscas, arenas silíceas y cuarcitas, son usadas a menudo como fundente en la producción de metales, especialmente en el proceso de reducción del fósforo elemental en horno eléctrico.

#### Refractarios silíceos

La sílice cuando se calienta a 1500°C se transforma en critobalita y tridimita, polimorfos del cuarzo que tienen muy buenas condiciones refractarias elevando el punto de fusión a unos 1700°C.

La cuarcita es el refractario conocido más antiguo y fue usado en la primera planta de refractarios, a principios del siglo XIX. Los refractarios de sílice son clasificados como ácidos. Para usos metalúrgicos, los refractarios ácidos han sido reemplazados ampliamente por los básicos, tales como la magnetita, dolomita, etc. y refractarios neutros de alta alúmina.

Fundamentalmente como refractario se usa en la fabricación de ladrillos de sílice, revestimiento de hornos, como arenas de colada, etc.

### Arenas para fracturación hidráulica

Se inició su uso en 1948 para la estimulación de «rocas almacén» en la producción de hidrocarburos. Las especificaciones generales para su utilización son:

- Sílice mayor 98 %.
- Arcilla y partículas blandas menor del 1 %.
- Solubilidad en ácido clorhídrico menor del 0,3 %.
- Redondez (factor Kumbein) -0,6 o mayor.
- Apariencia clara, lavada y seca.

### Abrasivos.

Se suelen utilizar arenas silíceas en la limpieza de superficies, principalmente en forma de chorro de arena. El carácter abrasivo de la arena se fundamenta en su gran dureza y cantidad de aristas libres.

Estas arenas tienen unas especificaciones basadas en la frecuencia de distribución de los diferentes tamaños de grano, pero principalmente deben cumplir la característica de que los granos estén libres de arcilla y de costras de óxido de hierro.

### Arenas y gravas para filtros

Arena y grava se emplean para la filtración en el abastecimiento de aguas industriales o comunitarias, con objeto de eliminar impurezas, sedimentos y ciertas bacterias.

La arena para filtros ha de presentar las siguientes características: tamaño de grano uniforme a fin de proporcionar la máxima porosidad y mayor velocidad de filtración, ausencia de arcillas y demás sustancias solubles, diámetro de grano inferior a 2 mm, bajo contenido en Fe y Mn, para que no contamine el agua.

Otros usos del cuarzo de menor interés

comercial son en cementos y hormigones, pastas cerámicas, balasto para ferrocarriles, fertilizantes y flotación de carbones.

La figura 2 recoge las especificaciones químicas básicas para cuarzo de alta calidad y algunas de las acotaciones granulométricas más generales.

### IMPORTANCIA DEL CUARZO EN GALICIA TIPOS DE YACIMIENTOS

El valor de la producción del cuarzo en Galicia alcanzó en 1986 más de 520 millones de pesetas, cifra que supone el 15,85 % del valor de los minerales no metálicos. De esta producción Galicia exporta a los países Nórdicos más de la mitad del tonelaje extraído 52,9 %, lo que constituyó el 95,82 % del total de la exportación española de este mineral Fig. 3.

Los yacimientos de materiales silíceos, pueden clasificarse en función de su génesis (ver Fig. 4), en la que se encuentran representados los ejemplos más importantes existentes en Galicia.

Los yacimientos de cuarzo de Galicia, se encuadran en los siguientes tipos:

— *Metamórfico*. Por procesos de metamorfismo de contacto o regional las rocas sedimentarias ricas en cuarzo (cuarzoarenitas) pueden transformarse en cuarcita, roca compuesta principalmente por cuarzo recristalizado.

En Galicia existen numerosos yacimientos de cuarcita en relación con las formaciones «cándana» y «cuarcita armoricana», ambas del Cámbrico Inferior, localizándose sobre todo en las provincias de Orense y Norte de Lugo y Coruña, sin embargo, no se han explotado hasta el momento para aplicaciones que requieren alto contenido en sílice.

— *Sedimentario-mecánicos*. La sílice que forma parte de las rocas se libera por procesos de erosión. Los fragmentos de cuarzo o cuarcita son transportados en suspensión, saltación o tracción, en medio acuoso o aéreo hasta su depósito.

## PRINCIPALES ESPECIFICACIONES QUIMICAS

UTILIZACIONES	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	PPC	P	S	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As	Co	GRANULO	
VIDRIO PLANO	99 96±0,3%	0,2<x<1,6 ±0,1%	0,02<x<0,1 ±0,005% max=0,14														(1) 125 μ.-1mm. x̄=250 μ.	
VIDRIO COLOREADO 1.-Verde 2.-Ambar	98,5		1-0,30 2-1,0															
V. TRANSP. GRADO A (2) Optico	99,5	0,1	0,008		0,030								0,0002			2ppm	(3)	
GRADO B Decor. y Dom.	99,5		0,013		0,030								0,0002				mallas % > 20 = 0	
GRADO C Contenedores	98,5		0,030		0,030								0,0006				20-60-40-60 60-80-10-20 80-100= <5	
FIBRA OPTICA	99,8	0,00	0,02															
FIBRA DE VIDRIO	Bajo 54,0*	Alto 14,0*		Alto 17,5*				<1,0						Alto 10,0*			Harina mallas % > 60= < 20	
FUNDENTES SILICEOS	90	1,50	1,50	0,20														
FERROSILICIO	99,0	0,45	0,20 (1)	(Ca,Mg)0 0,30	0,003	0,001	(Na,K) <sub>2</sub> O 0,20				0,001	0,001	0,001			0,001	30-120(150)	
SILICIO-METAL	99,6	0,15	0,05-0,10	(Ca,Mg)0 0,10	0,003	0,001	(Na,K) <sub>2</sub> O 0,05				0,001	0,001	0,001			0,001	30-150(200)	
CARBURO DE SILICIO	99,0	0,10	0,10	0,00					0,00		0,00							
ESMALTES	97,5	0,55	0,20														Harina	
SILICATO DE SODIO	99,0	0,25																
REFRACTARIOS SILICEOS	97-98	0,5-1,0					0,20											
FRACTURACION HIDRAULICA	98,0																	
ARENAS DE FUNDICION O MOL DEO	> 95-96 > 98-99			A		A+B < 5,8%		B										0,1-0,5 mm.

\* Datos medios de diversas arenas silíceas utilizadas para Fibra de Vidrio (de Monografía gravas y arenas, IGME).

(1) Preferible.

(2) Especificaciones British Standard (BS-2975).

(3) Según standards de la American Ceramic Society.

CUARZO: 1986	NACIONAL	GALICIA	%
Número de explotaciones	9	3	33,3
Total personal	85	46	54,1
Nº empleados/explotación	9,44	15,3	+ 62
Producción (t.)/Explotación	63.146,7	78.658	+ 24,6
Valor de la producción (x10 <sup>3</sup> )/Explotación	91.860	173.495	+ 88,9
Productividad (Miles t.)/Empleado	9.726,3	11.314,9	+ 16,3
Productividad (Miles t.)/H. trabajada	5.663	6.588,4	+ 16,3
Nº Máquinas/explotación	17,3	22,7	+ 31,2
Potencia instalada (C.V.)/explotación	853	1.152	+ 35,1
Potencia (C.V.)/Máquina	49,2	50,8	+ 3,3
Total producción vendible (t.)	568.320	235.973	41,5
Contenido SiO <sub>2</sub>	98 %	98,78%	
Valor de la producción (x 10 <sup>3</sup> t.)	1.013.478	520.486	51,4

	VALOR DE LA PRODUCCION x 10 <sup>3</sup> t.			%	%
	NACIONAL	GALICIA	CUARZO-GALICIA		
TOTAL MINERALES NO METALICOS	45.093.783	3.284.344	520.486	1,15	15,85
TOTAL PRODUCCION (Sin hidrocarburos y uranio)	354.015.434	53.537.198	520.486	0,15	0,97
TOTAL PRODUCCION	396.148.072	53.537.198	520.486	0,13	0,97
EMPLEO MINERO NO METALICOS	6.414	379	46	0,72	12,14
TOTAL EMPLEO MINERO	81.081	6.834	46	0,06	0,67

Año 1986	GALICIA	ESPAÑA	ESPAÑA SIN GALICIA
$\frac{\text{EXPORTACION}}{\text{PRODUCCION}} \times 100$	52,90 %	28,45 %	1,56 %
$\frac{\text{EXPORTACION}}{\text{TOTAL EXPORT.}} \times 100$	95,82 %	100 %	4,17 %

Fig. 3

Génesis	Mecanismo de Transporte y deposición/Formación	Medio de Sedimentación	Tipo de depósito/Roca	Morfología del depósito	Tamaño de grano	Ejemplos en Galicia
(A) ALTERACION	Meteorización		In situ o eluvial	0	Arena	Monte Xabre (Pontevedra)
(B) SEDIMENTARIO	(B.1) MECANICOS (Detríticos o clás-ticos)	Torrenciales	Coluviales (Abánicos, aluviales, conos de deyección)	1	Grava	
		Fluviales	Aluviones	1, 2, 3	Grava, arena	Ríos Barcés, Ulla, Eume, Miño, Parga, Tamegá
		Fluvio-lacustres	Depósitos litorales	1, 2, 3	Arena, grava	
		Fluvio-marinos	Depósitos litorales	1, 2, 3	Arena, grava	Ulla, Eume, Tambre
		Fluvio-glaciares	Kames, eskers	1	Grava	
		Lacustres	Depósitos litorales	1, 2, 3	Arena, grava	
		Marinos	Depósitos litorales	1, 2, 3	Arena, grava	Baldayo
		Eólicos * desérticos * costeros	Dunas Dunas	1 1	Arena Arena	Baldayo
(B.2) QUIMICOS	Lacustre/marino	Químicos	3, 4	Micro y criptocristalino		
(B.3) ORGANOGENOS	Lacustres	Diatomitas	3	Microcristalino		
	Marinos	Diatomitas Trípoli	3 3	Microcristalino Microcristalino		
(C) HIDROTERMAL	Fluídos hidrotermales		Filones	Tabular, arrosariado, en pluma	Macro y microcristalino	Pico Sacro
(D) METAMORFICO	Metamorfismo de contacto o regional	Roca sedimentaria originaria = Cuarzoarenita	Metamórfico (cuarcita)	3	Microcristalino	Orol

## (E) VOLCANICOS

0: Masiva; 1: Cuneiforme; 2: Lenticular; 3: Tabular; 4: Nodular

\* Pueden también obtenerse materiales silíceos como subproducto o en la recuperación de escombreras.

E: 4



La formación de estos en los períodos geológicos es muy amplia, desde el Precámbrico al Cuaternario, si bien se explotarn depósitos más frecuentemente en el Cuaternario y Terciario ya que, en general, su menor compactación los hace más favorables para su beneficio.

En Galicia se está explotando cuarzo para ferroaleaciones en depósitos terciarios (Carballo Frades, Lanzá) y en depósitos Cuaternarios en Begonte (Cuenca del Río Ladra).

— *Hidrotermales*. Los yacimientos de este tipo se relacionan con rocas intrusivas ácida, y su género se asocia a las últimas fases de diferenciación magmática. La cristalización en discontinuidades de la corteza de fluidos hidrotermales ricos en sílice es el origen de cuerpos filonianos de diversa morfología: tabular, arrosariada, en pluma, etc.

Estos yacimientos de cuarzo filoniano requieren, para que tengan interés industrial, un gran volumen (se estima que su rendimiento es de un 45-50 % para aplicaciones de alto contenido en sílice: ferrosilicio, silicio-metal). En Galicia hay un gran número de filones de cuarzo que fueron ya explotados desde 1920 con el inicio de la primera fundición de ferrosilicio en Cee. Inicialmente las explotaciones se centraban en las cercanías de dicha fábrica, pero a partir de 1960 comenzaron las explotaciones en filones de gran volumen.

Se ha revisado la cartografía geológica existente identificando 110 filones de cierta entidad de entre los cuales se han reconocido 31, y muestreado 22 de ellos, con un total de 99 muestras superficiales que han sido tratadas para su «análisis químico general» por fluorescencia de rayos X.

En base a estos datos se observa que los principales problemas para la utilización del cuarzo en los filones gallegos como producto de alta calidad es, en general, el exceso de hierro y alúmina y el déficit de sílice y en el caso de silicio-metal el exceso de titanio y manganeso.

Así pues los datos obtenidos nos indican la baja posibilidad de recursos de cuarzo filoniano para algunos usos de alto valor como fibra óptica, cuarzo cristal y vidrio. Además en el caso del vidrio y otros la granulometría también es limitativa, puesto que sería preciso emplear el machaqueo para obtener las granulometrías finas y constantes necesarias, con la lógica influencia en el coste del producto acabado.

En resumen, los resultados indican que el uso más favorable del cuarzo filoniano se concreta en las ferroaleaciones y en el aprovechamiento de los rechazos en otras aplicaciones de menor valor como por ejemplo: refractarios, áridos, etc.

De los indicios muestreados, se han seleccionado los de mayor calidad y sobre ellos se ha profundizado su estudio geológico a escala 1:10.000.

Presentamos de entre ellos el estudio de uno de los filones más importantes y característicos que actualmente está en explotación, como es el filón de «O BARQUEIRO» enclavado en la ría del mismo nombre entre las provincias de Lugo y Coruña.

El emplazamiento del filón de «O BARQUEIRO» es coincidente con una fractura de dirección N.150-N.170E. Su longitud es de unos 10 Km y su potencia real oscila entre 30 y 50 m adelgazándose rápidamente en las zonas terminales. El buzamiento es de 45° al SO como valor medio.

El mineral es un cuarzo cristalino masivo que rara vez presenta formas cristalinas idiomorfas frecuentes en otros filones de Galicia. El contenido en SiO<sub>2</sub> del mineral supera en general el 99%. Además del SiO<sub>2</sub> están presentes en muy pequeña proporción otros elementos como son el titanio y el hierro, incorporados a la estructura cristalina del cuarzo coloreándolo, pequeños cristales cúbicos de pirita y algunos enclaves centimétricos de roca de caja (normalmente granito) que están muy alterados y a veces reducidos a un material terroso de colores rosáceos, cuando no han desaparecido totalmente y han dado lugar a una coquera (hueco).

Las rocas de caja son, a techo ampelitas y cuarcitas Ordovícicas y la Formación Ollo de Sapo que definen contacto muy nítidos, y a muro granito de dos micas que da lugar a contactos irregulares y en cierto modo transicionales como lo indica la presencia de otros filoncillos de cuarzo subparalelos al principal.

Las rocas encajantes se encuentran muy alteradas en las proximidades de los contactos. Los productos de esta alteración, caolín (procedente de la descomposición del feldespato del granito) y óxidos de hierro (resultado de la oxidación de los sulfuros de Fe presentes en las ampelitas), penetran en el filón a través de las fracturas arrastrados por las aguas de infiltración. Estos materiales depositados en las diaclasas son los principales contaminantes del mineral a los que hay que añadir en menor proporción los elementos distintos de la sílice presentes en el cuarzo.

El filón sufrió una deformación frágil posterior a su formación que se manifiesta en tres sistemas principales de diaclasas que afectan al cuarzo: uno con la dirección y buzamiento del filón y otros dos subverticales de direcciones N.80 E y N.120 E. El espaciamiento entre diaclasas oscila en general entre 5 y 25 cm y su continuidad es muy baja (inferior a 1 metro) lo que es un factor determinante sobre la granulometría del mineral a obtener.

En algunos sectores del filón esta deformación ha sido tan intensa que el cuarzo aparece milonitizado, como agregado de cristales granulométrico con escasa resistencia mecánica. Su estructura ha sido asimismo afectada por una serie de fallas subverticales paralelas a los sistemas de diaclasas lo que provoca desplazamientos del filón de hasta 150 m. Las fallas son normales con un ligero componente en dirección como lo indican las estrias observadas en algunos planos de falla. Es frecuente observar en las proximidades de los planos de deslizamiento verticalizaciones en el buzamiento del filón así como un aspecto brechoide en el mineral.

En la Fig. 5, se presenta una reducción de la cartografía 1:10.000 realizada así como varios cortes geológicos distribuidos estratégicamente al objeto de ilustrar las características geométricas (buzamiento, potencia aparente, potencia real, etc.) del mismo.

Los sistemas de fracturación, tipos de contacto con los hatiales y demás características observadas en el filón de «O BARQUEIRO» se repiten en líneas generales en la mayoría de los filones estudiados en Galicia.

*Recibido, 3-IV-89*

*Aceptado, 12-V-89*

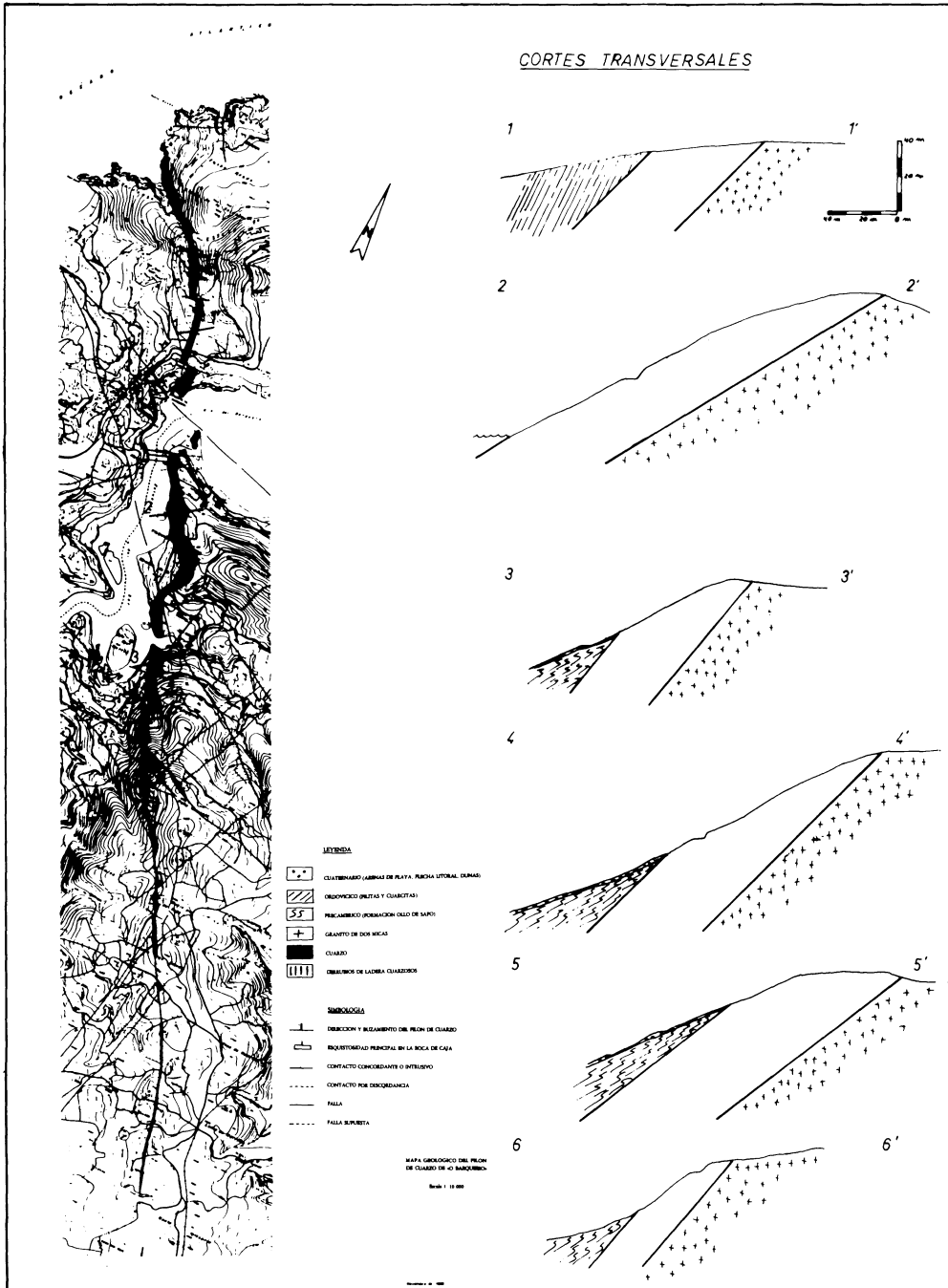


Fig. 5

**BIBLIOGRAFIA**

- BROWN, R. (1984). *Ferrous alloys. Minerals Yearbook*. 353-375.
- BUSTILLO, M. A. (1980). *Diagénesis de sílex. Rev. Inst. Investit. Geol. Diputación Provincial*. Univ. Barcelona. Vol. 34. 237-248.
- BUSTILLO, M. A. (1982). *Minerales de la sílice en ambiente sedimentario: Estudio y aplicaciones. Exponer*, 1982.
- CAMPBELL, D. (1946). *Quartz crystal deposits in the state of Goiás, Brazil. Economic Geology*. Vol. XLI, n.º 8. 773-799.
- CAMPBELL, D. (1987). *Raw materials for technical Ceramics. Industrial Minerals*. Abril, 1987, 61-65.
- DAVIS, L., TEPORDEY, V. (1984). *Sand and gravel. Minerals yearbook*, 775-793.
- EDWARDS, G., COPLEY, J. (1976). *Trends in raw material needs for the specialty glass industry. 2nd. Industrial Minerals International Congress*. Munich, 1976. 171-177.
- ENGEL, A. (1946). *The quartz crystal deposits of western Arkansas. Economic. Geology*. Vol. XLI, n.º 8, 598-618.
- GRIFFITHS, J. (1987). *Silica. Is the choice crystal clear. Industrial Minerals*, Abril 1987. 25-43.
- I. G. M. E. (1975). *Monografías de rocas industriales: Arenas y gravas. Pub. Min. Ind. y Ener. Madrid*.
- MENNEMANN, K. (1987) *Special Grasses. The importance of raw materials. Industrial Minerals* (Abril, 1987). 53-59.
- MURPHY, G. (1984). *Silicon. Minerals Yearbook*. 795-807.
- SMITH, M. (1984). *Quartz crystal currently sparkling. Industrial Minerals* (Agosto, 1984). 19-25.
- TOON, S. (1986). *European glass. Seeking batch cost-efficiency. Industrial Minerals*. (Agosto, 1986). 39-58.
- TOON, S. (1986). *Abrasive Minerals. Hard work in soft markets. Industrial Minerals*. (Diciembre, 1986). 53-73.