

# CAPITULO 10

## RECURSOS MINERALES INDUSTRIALES

### 10-1-CUARZO

El cuarzo es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre integrando rocas tan comunes como granitos, gneiss, areniscas, etc. Sin embargo es raro que se presenten en grandes masas monominerálicas de gran pureza. Las mayores masas ocupan volúmenes no superiores a un metro cúbico y se encuentran en pegmatitas, que son rocas compuestas por cuarzo, feldespato y algunas micas, en el caso más frecuente.

Los filones de cuarzo casi puro contienen pequeñas cantidades de sulfuros de hierro que aunque en proporciones muy bajas, siempre se encuentran en porcentajes suficientemente altos como para imposibilitar la obtención de masas de cuarzo importantes de elevada pureza.

Como recurso mineral industrial, el cuarzo se emplea, cuando posee tenores de óxido de silicio (silice:SiO<sub>2</sub>) muy elevados. Un análisis típico, exigido por una empresa alemana de primera línea es, el que se expone a continuación:

SiO <sub>2</sub> mínima	99,8 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> máxima	0,05 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> máximo	0,02 %
Cr, Ti, Mn, Cu sólo en cantidades ínfimas	(escasos ppm)

Otra importante empresa alemana solicitó cuarzo molido de gran pureza y con el 80 % del material de tamaño menor a 0,074 milímetros (malla 200). La solicitud concreta pedía 100 toneladas de cuarzo molido con las características químicas y granulométricas que se exponen a continuación:

COMPOSICIÓN QUÍMICA	GRANULOMETRIA
SiO <sub>2</sub> mínima 99,8 %	mayor a 0,2 mm 0 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> máximo 10 ppm	0,1-0,2mm menor 3 %
TiO <sub>2</sub> máximo 10 ppm	0,074-0,1mm menor 14 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> máximo 500 ppm	menor 0,07mm mayor ó igual 83 %
MgO máximo 20 ppm	
CaO máximo 50 ppm	
MnO. Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> NiO, CoO, CuO, ZrO, BaO, SrO, menor 1 ppm	

Las propiedades químicas de esos cuarzos son obtenibles en Uruguay solamente en filones pegmatíticos del zócalo cristalino precámbrico. Los filones hidrotermales contienen siempre abundantes sulfuros que impiden su uso por la presencia de hierro, níquel, cobre y otros elementos.

El límite impuesto para el aluminio de 500 ppm (0,05 %) exige el uso de cuarzo pegmatítico de temperatura no demasiado elevada para que el ión  $Al^{+++}$  no sea capaz de ocupar las posiciones del centro de los tetraedros.

Uruguay es un país que tiene condiciones ideales para producir cuarzo de alta pureza a tamaño inferior a malla 200 (0,074 mm). Por un lado posee decenas de filones pegmatíticos de gran tamaño de cristales o masas cuarzosas y por otro lado tiene una campaña suficientemente poco poblada, como para poder instalar una o más plantas de molienda de cuarzo a suficiente distancia de cualquier casa para no afectar al medio ambiente con el proceso.

Esta segunda condición es especialmente favorable en el momento actual. La molienda de cuarzo es una empresa absolutamente controlable, pero lleva consigo el estigma de la silicosis si no se maneja con la adecuada tecnología. Los operarios no corren riesgo porque usan tapabocas, lentes, guantes, cascos y zapatos protectores, pero un desperfecto en el sistema podría generar expulsión al aire de partículas de cuarzo que podrían afectar los habitantes de la vecindad. No habiendo vecinos a menos de 2000 metros, ese riesgo desaparece completamente. (ver figura N° 10-1).

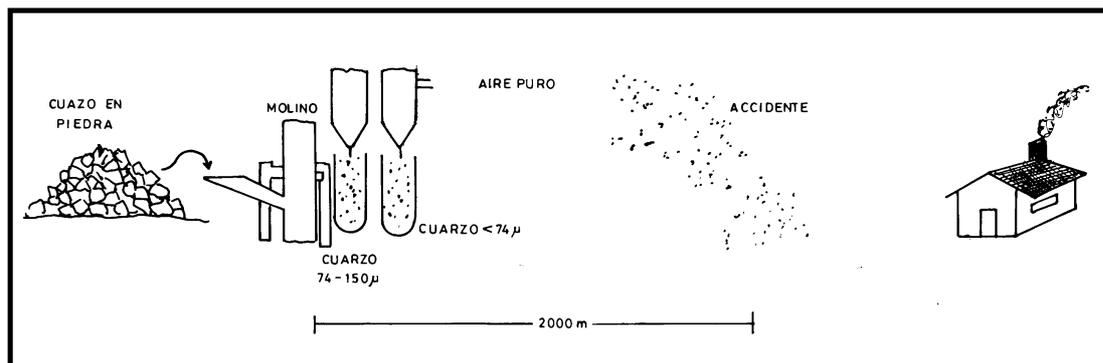


Figura N°10-1. Exigencias ambientales para instalación de molienda de cuarzo.

La estructura geológica del precámbrico del Uruguay, con gran abundancia de cabalgaduras en las que se emplazaron pegmatitas compuestas casi exclusivamente por cuarzo y feldespato junto con la despoblación del interior del país, permiten proyectar un programa nacional de enormes posibilidades de rentabilidad.

Uruguay es un país en el cual durante el período precámbrico (hace más de 540 millones de años) fueron frecuentes los desplazamientos horizontales de masas de la corteza terrestre y en muchos de ellos se instalaron pegmatitas también subhorizontales.

Esas pegmatitas compuestas de cuarzo y feldespato (con mínima proporción de mica) fueron emplazadas a temperaturas y presiones relativamente poco elevadas y por ello permiten prever que los cuarzos en ellas contenidos son de muy elevada pureza. Se formaron a temperaturas de 600 - 700 °C de modo que no retuvieron los sulfuros hidrotermales y tampoco permitieron por la baja presión soportada, el ingreso de  $Al^{+++}$  en el centro de los tetraedros, sino que este ión pasó a integrar exclusivamente los feldespatos (a veces también las micas). Existen datos geológicos suficientemente precisos de varias pegmatitas explotadas para cuarzo de alta pureza cuando operaban plantas de elaboración

de cristal y vidrio incoloro en el Uruguay. También se dispone de relevamientos detallados de posibles yacimientos que no llegaron a operar por la desaparición del mercado para cuarzo de alta pureza.

El tema entonces debe ser abordado desde dos puntos de vista, por lo menos: recursos minerales y proceso industrial. En el campo de los recursos minerales deberá analizarse la información geológica disponible con estimación de reservas probables de cada yacimiento y de la expectativa a escala nacional; en el proceso industrial será necesario plantear algunos criterios sobre posibilidades de instalación de plantas en lugares estratégicos y con montos de inversión aproximados.

### 10-1.1. Recursos minerales

Se conocen muchísimos yacimientos de cuarzo de la pureza en Uruguay como consecuencia de esa evaluación geológica arriba referida, en la que se involucraron enormes desplazamientos horizontales en los cuales se inyectaron pegmatitas con cuarzo de alta pureza.

En la figura N°10-2 se muestra la distribución conocida de esos yacimientos a escala nacional y afloramientos puntuales de los cuales algunos se indicarán a escala suficientemente grande como para comprender la estructura en profundidad.

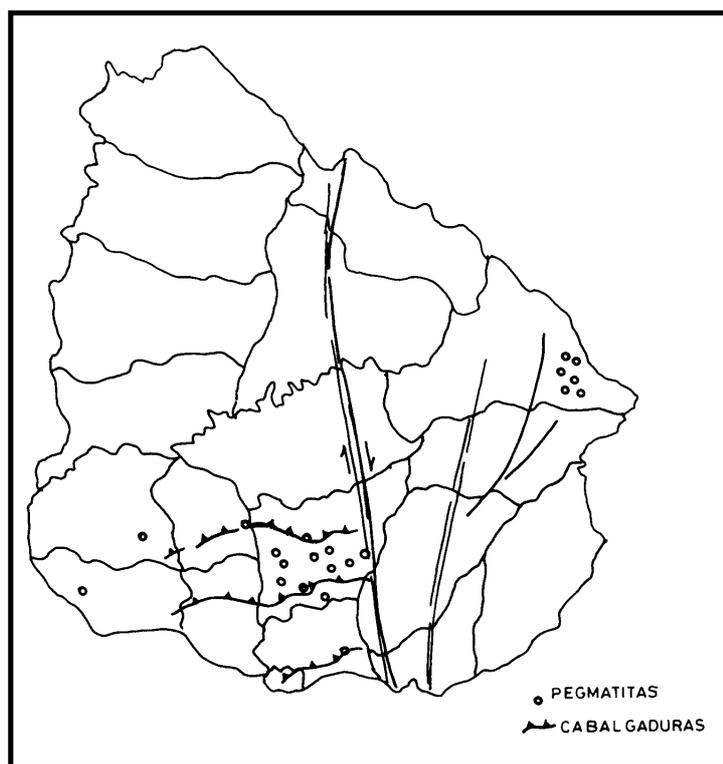


Figura N°10-2. Distinción de yacimientos en el país.

Uno de los yacimientos estudiados pertenece a una zona de cabalgadura que tiene desarrollo groseramente EW a unos 20 - 25 Km al Sur de la ciudad de Durazno. Esa discontinuidad separa granitoides y migmatitas de la faja granitizada Florida sensu BOSSI y NAVARRO (1991) que se desarrollan al Sur, de un enorme macizo granítico intrusivo de grano medio que se desarrolla hacia el Norte. En la propia zona de discontinuidad tectónica se formaron cuerpos pegmatíticos con buzamientos entre 10 y 50° con grandes masas de cuarzo.

En la figura N°10-3. se muestra la estructura general del yacimiento representado por el afloramiento de 2 pegmatitas cuarzo -feldespáticas en longitudes individuales del orden de 100 metros. Las muestras superficiales dieron valores de SiO<sub>2</sub> iguales o superiores a 99,7 % aunque no se determinaron los porcentajes de sustancias no permitidas o nocivas.

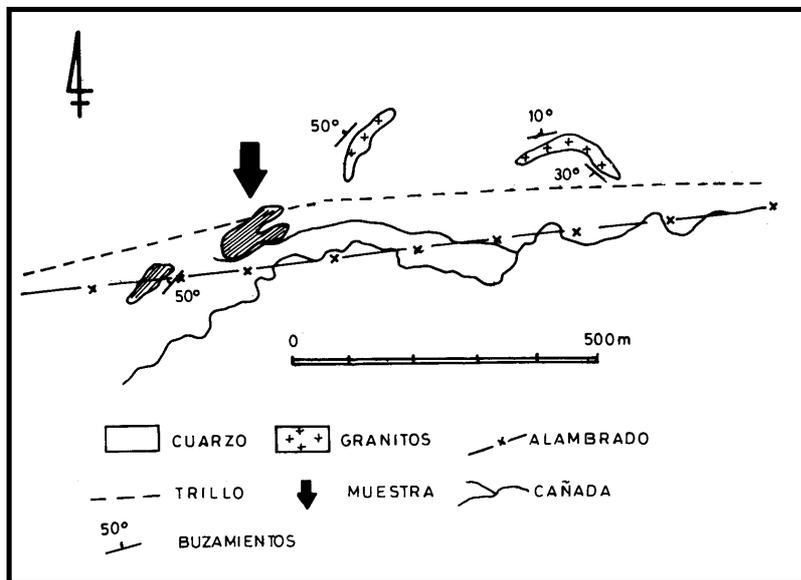


Figura N°10-3. Carta geológica de pegmatitas.

Resulta significativo desde el punto de vista genético de estas pegmatitas que cuerpos de microgranito leucócrata también presenten los mismos rasgos estructurales. De ello puede inferirse que los cuarzos integrantes de las pegmatitas fueron generados a partir de metamorfitos provenientes de rocas sedimentarias. La información geológica mundial indica que este tipo de origen no concentra cromo, níquel, selenio y la mayoría de los otros elementos nocivos.

Un estudio más detallado permitió establecer la forma geométrica de uno de los filones pegmatíticos así como una estimación preliminar del porcentaje y tamaño del cuarzo para estimar las reservas probables del yacimiento. Como se ve en la figura N° 10-4 las masas de cuarzo superan frecuentemente un diámetro de 0,50 m y representan el 60 % del volumen de la pegmatita.

La potencia de la pegmatita es de 2 metros, su longitud aprovechable mínima es de 100 metros y con el buzamiento de 10° puede ser explotada no menos de 100 metros en el sentido del buzamiento, pues se llegaría a profundidades poco superiores a 10 metros.

El volumen de pegmatita explotable sería de :

$$100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 20.000 \text{ m}^3$$

con un contenido de cuarzo del 60 % se podrían extraer alrededor de 12.000 m<sup>3</sup> de cuarzo equivalentes a 30.000 toneladas.

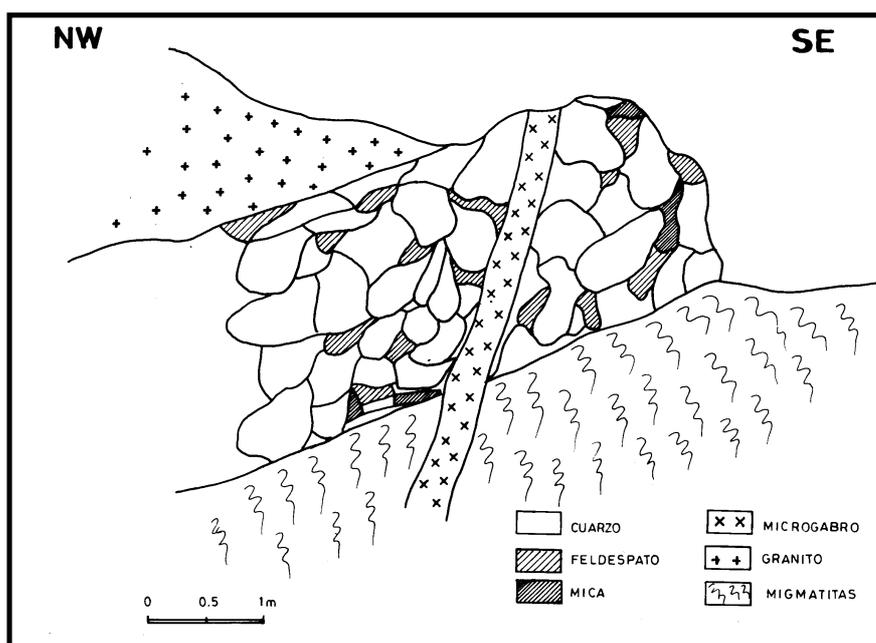


Figura N°10-4. Detalle geológico de un filón pegmatítico.

La opinión de los autores de este ensayo es que cada yacimiento de cuarzo de alta pureza integrante de las pegmatitas asociadas a fenómenos de cabalgadura posee reservas de ese orden: 20 a 50.000 toneladas.

No es conocido ningún yacimiento de reservas sensiblemente mayores aunque existen citas al respecto. Sería necesario realizar estudios adicionales en cada uno de esos posibles yacimientos para confirmar un origen no hidrotermal y un volumen extraíble con altísima pureza a costos razonables.

Como fue mostrado en la primera figura de este capítulo, el número de yacimientos potenciales conocidos es muy elevado y probablemente sea mayor el número de yacimientos desconocidos. Es por eso que parece claro que la materia prima necesaria para producir cuarzo molido a malla 200 (74 micras) es suficiente en Uruguay para satisfacer las demandas del volumen que las empresas de transformación requieren.

Decenas de estos pequeños yacimientos, dedicados a extracción principalmente manual, de modo de lograr materiales de la pureza requerida, son capaces de volcar a una planta industrial de molienda, 40 a 50 toneladas por mes de cada uno, como para poder producir 1000 a 2000 toneladas mensuales de cuarzo molido a malla 200.

La estructura geológica es altamente favorable para permitir extracciones artesanales con mínimo equipamiento mecánico: compresor y martillos neumáticos. Esta actividad permite producir 2 a 3 toneladas por día con 2 operarios que clasifican manualmente, eliminan algunas cortezas impuras y cargan a mano el camión semanal.

No existe proceso mecánico que pueda extraer cuarzo de alta pureza y por eso es posible generar materia semi-elaborada tan apreciada en el mundo, en países donde todavía exista capacidad de trabajo artesanal de excelencia a costos normales.

Durante varias décadas la producción de cuarzo de esa pureza se realizó en Uruguay con procedimientos artesanales aprovechando la calidad de la mano de obra disponible. Las condiciones mundiales han cambiado y la globalización permite remunerar

satisfactoriamente a esos artesanos, de modo que si esta estructura se monta en Uruguay, existirán numerosos interesados en dedicarse al tema.

Este proyecto puede soportar la instalación de por lo menos 3 plantas de molienda, una en cada uno de los centros geográficos de gran abundancia de filones con cuarzo de alta calidad: Florida, Trinidad, Melo.

### 10-1.2 - Proceso industrial

Aunque es posible producir y comercializar cuarzo de alta pureza en fragmentos de varios kilogramos, las condiciones de Uruguay son ideales para obtener material molido a malla 200 (74 micras).

El cuarzo molido es un material nocivo, porque aspirado llega a los pulmones y se deposita allí generando microvesículas. Ello es debido a que el cuarzo es un mineral que no tiene clivajes y en cambio se fractura en superficies concoides produciendo partículas con ángulos agudos muy pronunciados que actúan como microdardos que ulceran el tejido pulmonar en la aspiración.

En la figura N° 10-5 se muestran perfiles de partículas de cuarzo molido a malla 200 para indicar las aristas agudas de la periferia. Cuando alcanzan el tejido pulmonar quedan clavados y no existe posibilidades de recuperación del tejido original porque es un mineral totalmente insoluble compuesto por tetrahedros de silicio y oxígeno.

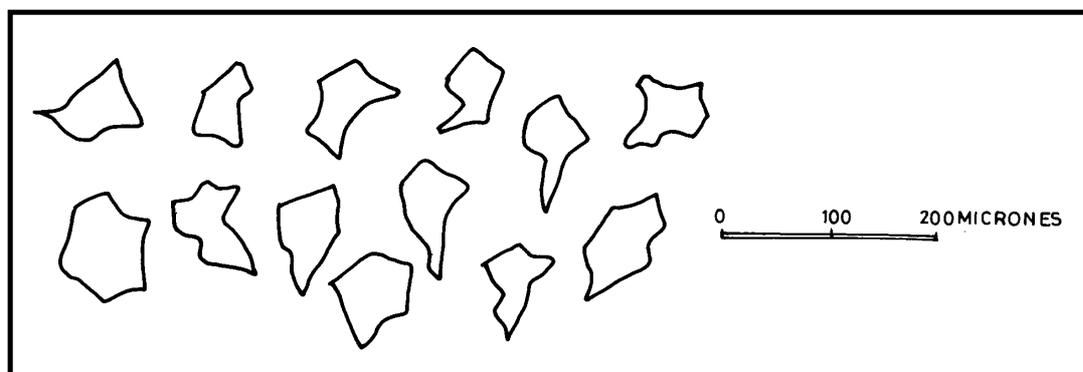


Figura N°10-5. Formas de granos de cuarzo molido.

Ese proceso genera una enfermedad mortal, denominada silicosis, que consiste en la ulceración de la mayor parte de la superficie pulmonar de intercambio de oxígeno y lo más grave es que se produce en forma lenta e imperceptible, hasta llegar a ser incurable.

A nivel de cantera o de planta industrial, la contaminación es perfectamente controlable con sólo obligar a usar tapabocas y respirar a través de filtros apropiados.. El trabajo es sin embargo desagradable por la necesidad de permanecer hasta 2 horas de continuo con el tapabocas. Ello determina dificultades de montaje de plantas en países que tienen otras fuentes de ingreso.

También hay dificultades en países muy poblados para el montaje de plantas de molienda de cuarzo, porque siempre algunas partículas pueden escapar a la atmósfera y una población cercana podría ser afectada.

Por supuesto, es necesario tener en cuenta que esta industria exigirá controles muy severos para evitar el mínimo riesgo, pero parece interesante encarar un estudio serio de factibilidad económica desde que la materia prima necesaria en volúmenes adecuados.

Si la factibilidad económica resulta positiva habrá que replantear el estudio de los yacimientos, pero no parece estar allí la dificultad en el estado actual de los conocimientos.

Para la molienda de cuarzo se usan de molinos esenciales aunque de costo relativamente bajo. Se trata de cilindros de acero cuyo diámetro es equivalente a la altura, que son revestidos de cuarzo de alta pureza y giran alrededor de un eje horizontal.

Por uno de los extremos del eje de giro es alimentado desde la tolva de suministro con fragmentos de cuarzo de alta pureza de unos 20 cm de diámetro (tamaño hombre) y por el otro extremo se retiran partículas de cuarzo de tamaño inferior a 120 micras mediante el uso de ciclones y un poderoso ventilador de cola (ver figura N° 10-6).

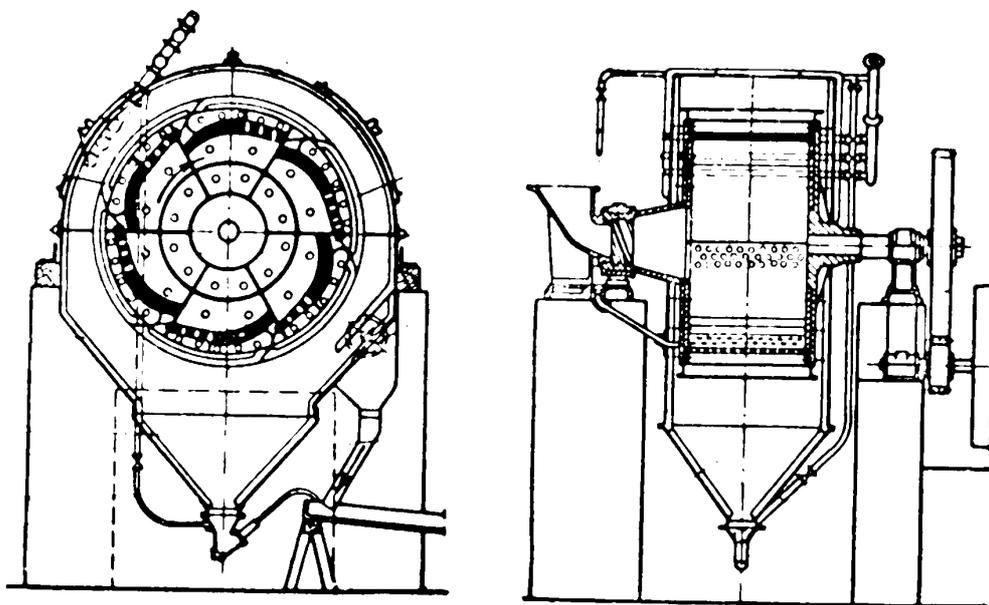


Figura N°10-6. Esquema de molino de cuarzo.

En este proceso se aprovechan varias propiedades fundamentales del cuarzo: elevada dureza (7 de la escala de Mohs), fractura concoide a subconcoide, fragmentación en partículas equidimensionales por la estructura interna con igual energía de enlace en todas direcciones, poco resistente al choque.

El diseño del molino debe ser tal que la fuerza de arrastre del viento generada por el ventilador de cola sea de 0,002 mg. En esas condiciones es capaz de poner en suspensión partículas de un volumen del orden de 0,06 mm de radio ( $10^{-3}$  mm<sup>3</sup>) y una densidad de 2,6 mg/mm<sup>3</sup>=0,002 mg.

En cifras aproximadas, para tener ideas generales del tipo de equipo necesario se debe montar un ventilador de cola de HP y sus paletas deben girar a rpm.

En forma resumida, el proceso de molienda industrial implicaría el aporte de 100 toneladas por día a la ( o las) planta industrial proveniente de varias canteras que producen 10 toneladas cada día o cada dos días.

La producción de cuarzo en fragmentos tamaño hombre a un ritmo de 5 a 10 ton/día puede lograrse satisfactoriamente en pequeñas empresas de 4 a 5 operarios cada una. El trabajo fundamental es arranque, limpieza y carga, por lo que es posible- y ya hay muchos ejemplos en Uruguay de tiempo atrás- obtener cuarzo de pureza adecuada a las exigencias del mercado.

El cuarzo extraído manualmente de filones pegmatíticos tiene como única impureza de importancia, el óxido de hierro infiltrado y depositado en las fracturas, de modo que con personal idóneo puede lograrse obtener fragmentos absolutamente libres de impurezas (ver figura N°10-7).

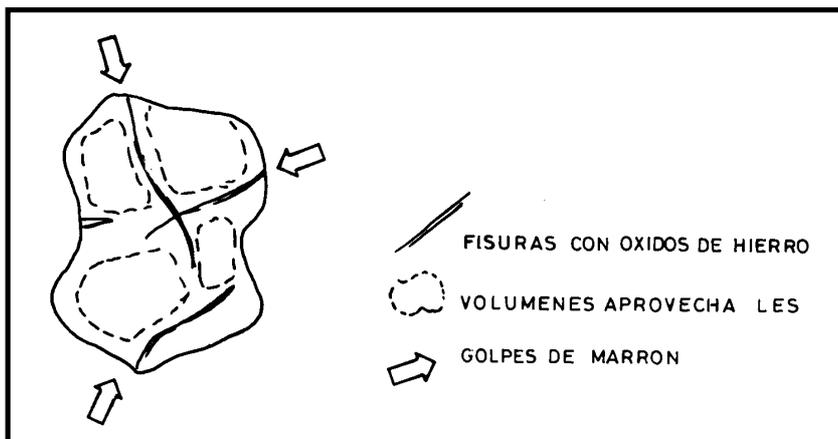


Figura N°10-7. Distribución de óxidos de hierro en trozos de cuarzo.

Para el caso planteado en la figura N°10-7, imaginando solamente un plano, serían suficientes 3 golpes de marrón y algunos golpes adicionales con maceta y punta para lograr alrededor del 70 % del volumen original aprovechable.

Otra de las impurezas indeseadas es el aluminio, proveniente de feldespatos o de arcillas producidas por meteorización. Esta impureza es todavía más sencilla de eliminar en los procesos manuales, porque la beneficiación consiste solamente en eludir las masas más o menos alteradas de feldespatos.

## 10-2-ARENAS NEGRAS

La **ilmenita en arenas negras** se encuentra concentrada principalmente en la zona de Aguas Dulces en el Dpto. de Rocha. Este yacimiento fue detalladamente estudiado en el período 1955/1965 por técnicos de ANCAP (ver figura N° 10-8 cuyas conclusiones fundamentales se transcriben del documento de MUJICA y MAROTTA (1968).

El yacimiento es costero superficial y se extiende por 12 Km con una profundidad promedio de seis metros.

Los minerales densos aparecen en hiladas milimétricas entre capas de granos estériles de cuarzo y feldespato. En su conjunto, determinan el 2,5 % en peso del sedimento total y en esa zona se ha concentrado 3 millones de toneladas de minerales densos en un volumen del orden de un millón de metros cúbicos.

Los minerales densos están constituidos por 77 % de minerales de valor económico potencial y 23 % de minerales sin valor específico:

ILMENITA	50 %
MAGNETITA	20 %
CIRCON	5 %
RUTILO	1 %
MONACITA	1 %
EPIDOTO	10 %
GRANATE	9 %
ANFIBOLES	4 %

El proceso concebido para el aprovechamiento de ese 1,2 % de ilmenita originalmente contenido en el yacimiento de arena, fue el siguiente, cumplido en varias etapas.

1. Extracción, beneficiación y separación de concentrados, (ver figura N°10-8) con lo que se obtiene cada mineral en alto estado de pureza. Así por ejemplo,, la ilmenita se obtiene con:

51 % de $TiO_2$
45 % de $Fe_2O_3$
2 % de MnO
0,2 % de $V_2O_5$

2. Esta ilmenita se trata en hornos apropiados para descomponerla en hierro metálico y una escoria que contiene la totalidad del titanio del mineral original.

- 3 .Tratamiento de la escoria titanífera para obtener el pigmento blanco de titanio.

Las dimensiones consideradas rentables en ese estudio era la producción de 1/20.000 ton/año de ilmenita, 10.000 de circón, 2000 de rutilo y 1200 ton/año de monacita.

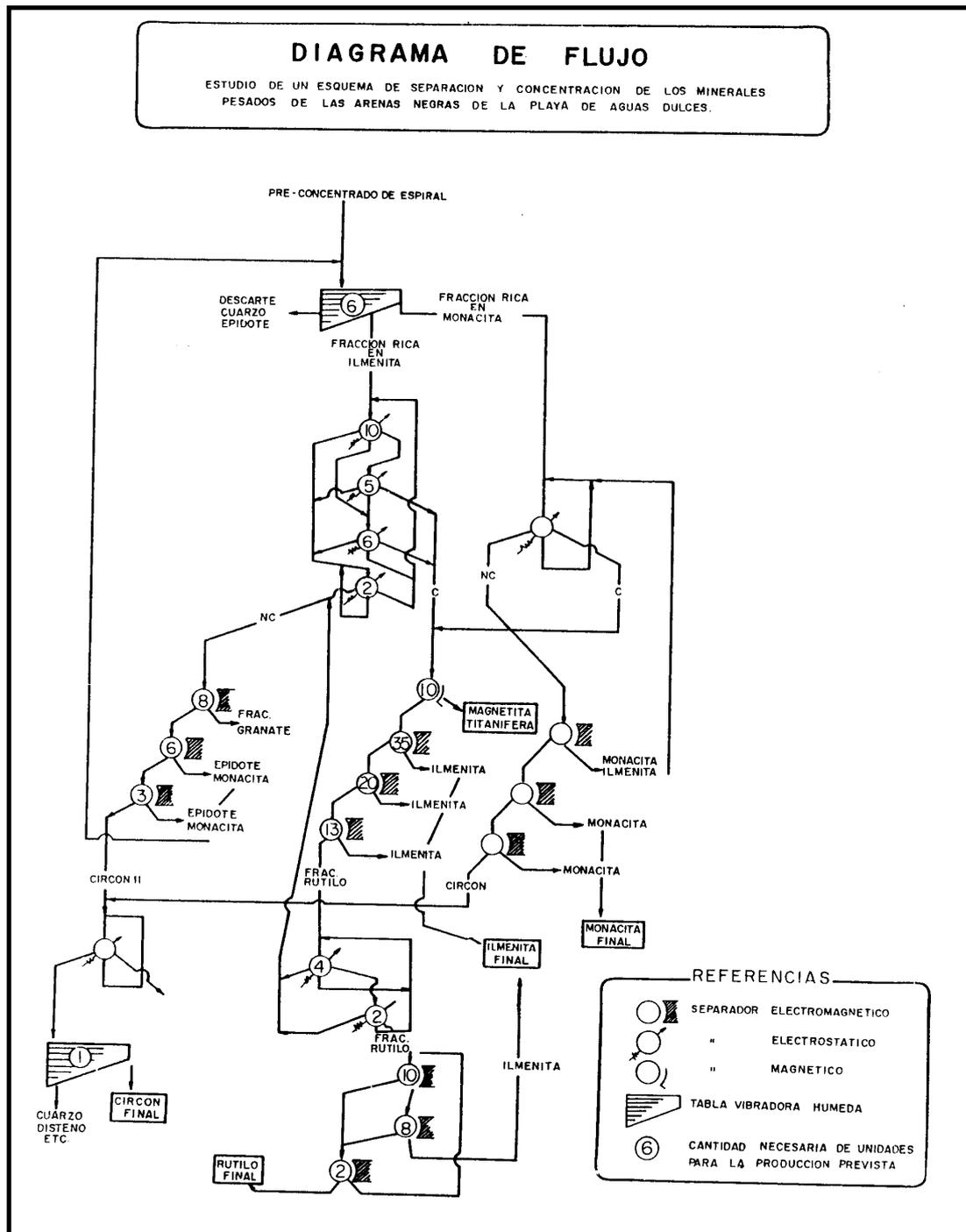


Figura N°10-8. Estudio de un esquema de separación y concentración de los minerales pesados de las arenas negras de la playa de Aguas Dulces (Rocha según MUJICA y MAROTTA 1968).

El rutilo en arenas negras existe como un recurso mineral potencial para elaboración de titanio metálico por el método actualmente en boga.

Su aprovechamiento está condicionado a la beneficiación del depósito total de arenas, porque su concentración es tan sólo del 1,5 % en las arenas densas, las cuales a su vez son sólo el 2,5 % del total de arenas del depósito.

Las reservas de rutilo ( $TiO_2 = 94 \%$ ) son del orden de 35 a 50.000 toneladas en el yacimiento total.

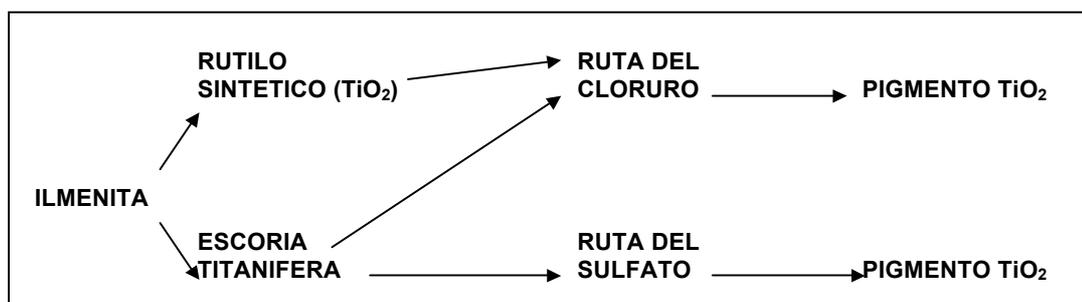
La producción anual actual en Sudáfrica de productos titaníferos, según (South African Mining) de febrero de 1998 se ubica en:

45.000 TON DE BLANCO DE TITANIO
4.000.000 TON DE ILMENITA
220.000 TON DE ESCORIA TITANIFERA CON 85 % $TiO_2$
120.000 TON DE HIERRO FUNDIDO
40.000 TON DE TUTILO

Sudáfrica es el segundo productor mundial de ilmenita y está Ampliando las empresas de producción de blanco de titanio porque la industria del papel está aumentando sustancialmente el empleo de este pigmento para lograr productos de máxima calidad.

A título de ejemplo comparativo en 1973 el 65 % se destinaba a pinturas y sólo el 11 % para papel. Desde 1992 el porcentaje utilizado en el papel crece rápidamente al punto que Sudáfrica está pensando exportar papel en vez de blanco de titanio.

A partir de ilmenita, la producción puede hacerse por dos caminos principales:



Los 4 principales productores de escoria titanífera son Richards Bay Minerals de Sudáfrica, (ver figura N° 10-10. Diagrama de flujo de la industria) Namakwa Sands también de Sudáfrica, Q.I:T: de Canadá y Tinfos de Noruega.

La escoria titanífera se produce por fusión de la ilmenita generando dos materiales: escoria titanífera con 85 % de  $TiO_2$  y hierro fundido de alta pureza.

A modo de conclusión, el titanio vuelve a ser un recurso mineral de gran importancia: Ello conduce a la necesidad de reenfocar los diferentes yacimientos conocidos en el Uruguay porque la ecuación económica es radicalmente distinta a la manejada en cada una de las épocas en que esos yacimientos se estudiaron.

Se hace necesario recalcar que los pequeños yacimientos uruguayos pueden actualmente representar recursos minerales de valor económico si se demuestran las reservas existentes y se confirman los tenores oportunamente determinados.

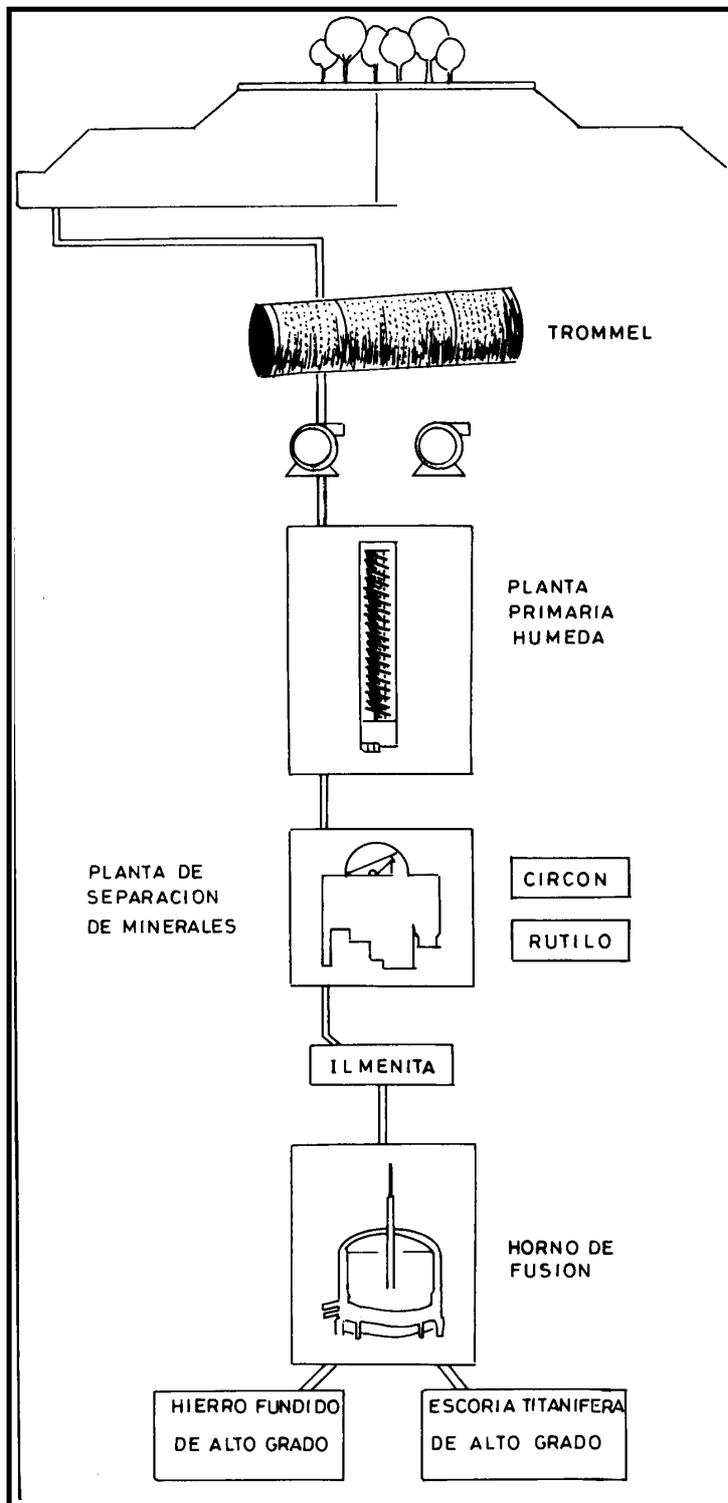


Figura Nº 10-9. Diagrama de flujo de la empresa Namakwa Sands para producción de escoria titanífera en Sud Africa

## 10-3-TALCO

El talco es un mineral de estructura interna en hojas, que aparece en la naturaleza como masas irregulares de color blanco o verdoso, con muy baja dureza ( 2 de la escala de Mohs), que cuando molido produce un polvo inocuo, de propiedades muy valiosas para uso en cosmética, insecticidas, cerámica, agroquímicos, papel, plástico, etc.

Los usos en cosmética y papel se basan en las propiedades estructurales que determinan las formas hojosas de las partículas molidas y su desplazamiento relativo casi sin rozamiento.

Los usos en cerámica refractaria se basan en el alto contenido en magnesio y la ausencia de elementos químicos fundentes. La fórmula química del talco es groseramente

SiO <sub>2</sub>	63 %	
		Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub>
MgO	32 %	
H <sub>2</sub> O	5 %	

El agua se encuentra con OH y puede ser eliminada de la estructura solamente a temperaturas del orden de 900°C.

La estructura en hojas y la untuosidad que determinan deslizamientos con poca resistencia se debe a la distribución iónica interna, como se muestra en la figura N°10-10.

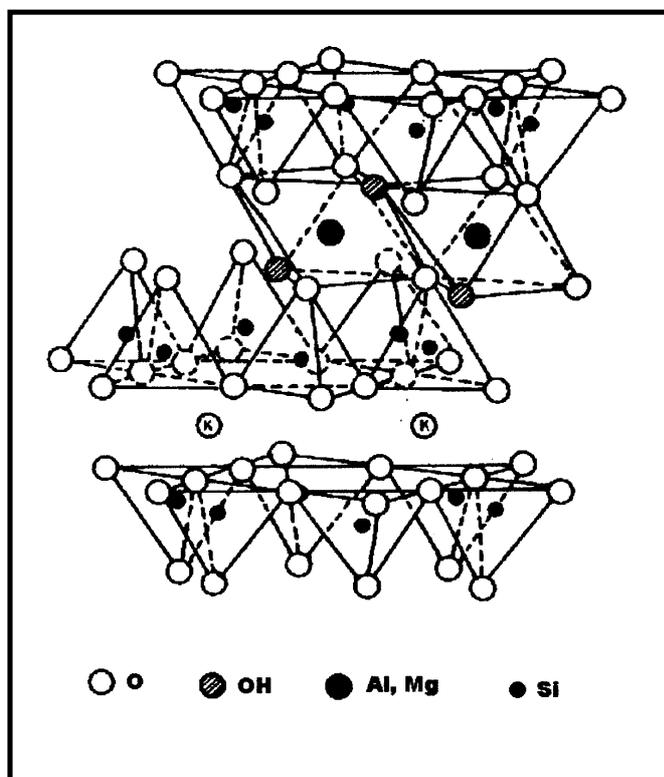


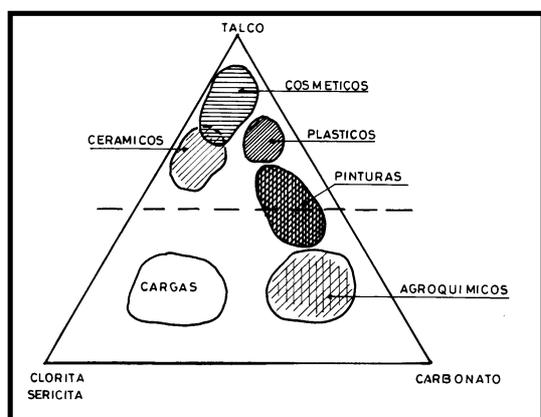
Figura N°10-10. Estructura interna del talco.

Esta estructura es similar a la de las micas y los minerales arcillosos, pero la capa octaédrica de MgO - OH se encuentra entre dos capas neutras de tetraedros de Si-O y no hay cabida para iones que usen eléctricamente esas capas.

A veces el talco desarrolla estructura fibrosa y determina masas con propiedades similares de baja dureza pero se deshoja con dificultad. En este caso el mineral se llama esteatita y puede ser usado para tallar excelentes piezas artesanales (pedra savao, jabón de piedra).

Además de los usos como mineral industrial arriba referidos, el talco se puede utilizar como carga mineral con excelentes propiedades tales como soporte de insecticidas, agregados en impermeabilizantes, goma, tintas, etc.

En este capítulo se hará énfasis en el tratamiento general del talco pero teniendo en cuenta las condiciones de formación de los productos de más alta calidad para su uso en cosmética y papel.



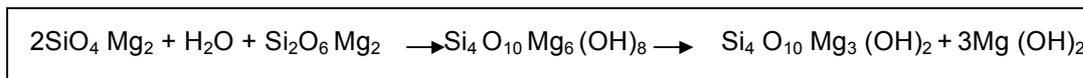
Según el origen y las impurezas que contenga, es posible realizar una clasificación de calidades en base al contenido de talco y al destino que se puede dar al producto resultante (ver figura N° 10-11).

Desde el punto de vista del origen, existen dos ambientes fundamentales que permiten su formación: rocas ultrabásicas y metamorfismo en grado bajo de dolomitas silíceas.

En cualquiera de los dos casos, según la experiencia uruguaya, es necesario la existencia de una fase tardía de milonitización para lograr bandas de talco de alta pureza.

Figura N°10-11. Diagrama de empleo de talcos según la composición.

La generación de talco a partir de rocas ultrabásicas procede en dos etapas por lo menos. En la primera etapa se transforma la roca ultrabásica en serpentinita y en la segunda etapa, fenómenos de milonitización transforman serpentinita en talco.



OLIVINA	+	PIROXENO (enstatita)	SERPENTINA	TALCO
SiO <sub>2</sub> 43 %		SiO <sub>2</sub> 60 %	SiO <sub>2</sub> 44 %	SiO <sub>2</sub> 63 %
MgO 57 %		MgO 40 %	MgO 43 %	MgO 32 %
			H <sub>2</sub> O 13 %	H <sub>2</sub> O 5 %

Este proceso genético ha quedado demostrado en el complejo ultrabásico del cerro de La Tuna en el Dpto. de Cerro Largo, donde un relevamiento geológico de mucho detalle permitió identificar bandas de talco de pureza comercial en cada una de las fallas transcurrentes identificadas. En las fallas de distensión no se produce talco, por lo cual puede concluirse, que su transformación a partir de serpentinita exige esfuerzos compresivos

y de cizalla. La energía necesaria es elevada para lograr la recomposición iónica para pasar de una estructura 1:1 de la serpentina a una estructura 2:1 del talco. (ver figura N°10-12).

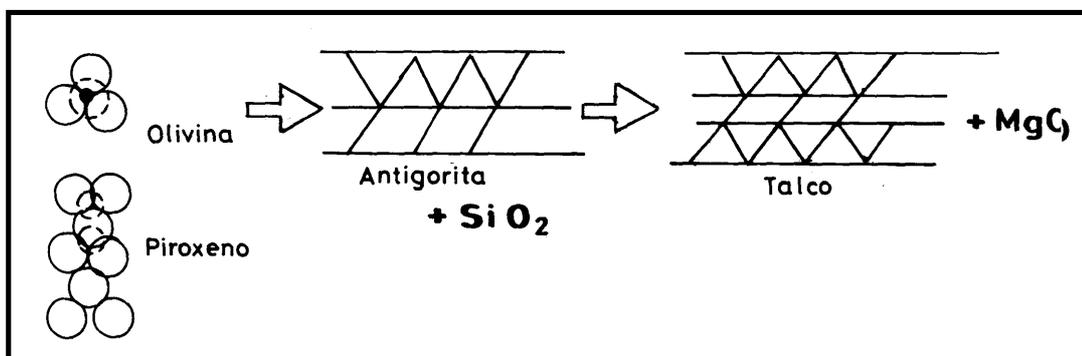


Figura N°10-12. Esquema de proceso de transformación de roca ultrabásica en talco.

Este proceso se produce con eliminación de sílice en la serpentización y eliminación de MgO en la transformación a talco. La serpentización puede producirse con agregado de agua y sin eliminación de  $\text{SiO}_2$  cuando proviene de una roca con proporciones de forsterita y enstatita adecuadas (2 fo + en) como puede verse en la ecuación arriba planteada.

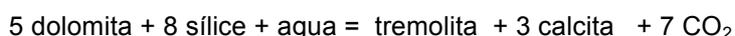
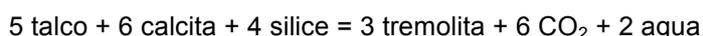
Cuando hay mayor cantidad de piroxeno, se libera sílice; cuando hay mayor cantidad de forsterita, se libera MgO.

En realidad no todos los granos de piroxeno son de enstatita, sino que algunos pertenecen a piroxenos cálcicos de tipo diópsido ( $\text{Si}_2\text{O}_6\text{CaMg}$ ) y en el producto final el  $\text{Ca}^{++}$  pasa a integrar la estructura de la tremolita. La tremolita es un anfíbol de hábito acicular que inhabilita el uso del talco porque es abrasivo, tenaz y tan perjudicial para la salud como el asbesto. La fórmula química es  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ .

Cuando los talcos contienen tremolita es necesario someterlos a un proceso de beneficiación previo a su uso industrial. Normalmente es un proceso muy simple, de bajo costo, pero inevitable. El tema será abordado más adelante al tratar sobre de reservas existentes de talco en el Uruguay.

El otro proceso genético clásico para los talcos de alta calidad es el metamorfismo en bajo grado de dolomitas síliceas. Estos sedimentos están compuestos por carbonatos dobles de calcio y magnesio ( $\text{CO}_3\text{Ca}.\text{CO}_3\text{Mg}$ ) y sílice mal cristalizada de alto grado de reactividad.

Cuando esos sedimentos son sometidos a condiciones de temperatura y presión del orden de 300 - 500°C y 6 Kbar reaccionan generando minerales metamórficos que incluyen talco cuando existen presiones dirigidas. Según datos de WINKLER(1975) son varias las posibles reacciones:



La formación de talco, de acuerdo con estas reacciones, se ve favorecida cuando la sílice es equivalente a la dolomita y la presión confinante no es demasiado elevada para permitir escapar el  $\text{CO}_2$ .

En la figura N°10-13 se expone una gráfica inspirada en el referido autor para mostrar la curva de equilibrio dolomita - talco en función de la temperatura y la fracción molar de anhídrido carbónico, en un ambiente donde la presión del fluido es de 1000 atmósferas.

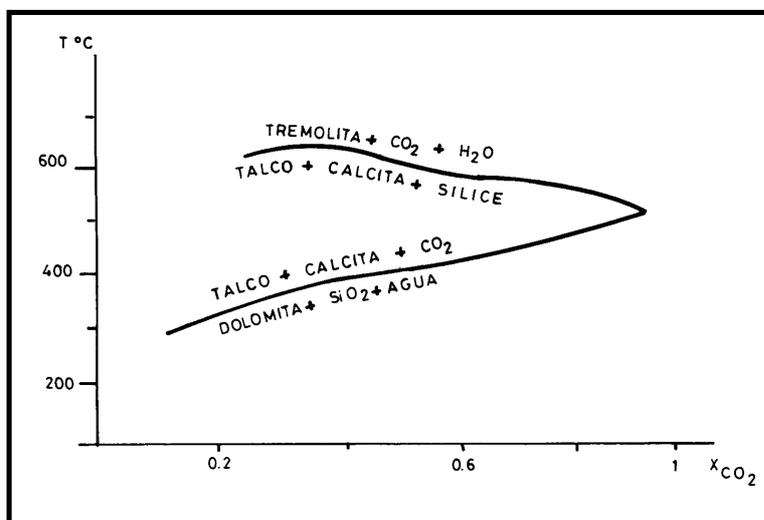


Figura N° 10-13. Curvas de equilibrio dolomita - talco según WINILER (1975)

Estos equilibrios físico-químicos indica que es poco probable la formación de talco sin que se den las condiciones que favorezcan también la formación de tremolita porque hay mucho  $\text{Ca}^{++}$  en el sistema y pequeñas variaciones de temperatura, composición química y presión parcial de  $\text{CO}_2$  conducen a uno u otro mineral.

La experiencia demuestra que en la más importante mina de talco de Uruguay, cuyo mineral se ha generado por este tipo de reacción metamórfica, la tremolita es un mineral que está presente y que solamente detallados estudios geológicos permitieron definir su geometría para evitar cualquier tipo de trastorno.

En este mismo yacimiento, los talcos impuros han experimentado solamente una fase tectónica con planos axiales N60E casi verticales. Los talcos de más de 99 % de pureza (talco "espuma") se han generado por una segunda fase tectónica sobrepuesta, con rumbo dominante N45W pero con abundantes pliegues resultantes de fenómenos de interferencia.

A modo de resumen, el proceso genético del talco está siempre asociado a intensos fenómenos de cizalla que favorecen la formación de minerales filitosos e impiden el crecimiento de minerales de estructura interna diferente: Es obvio que la composición química juega también un papel esencial porque es necesario que solamente predominen  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

En Uruguay son conocidas por los autores de este ensayo, 4 zonas conteniendo talcos potencialmente explotables y constituyendo por lo tanto recursos minerales a ser considerados en un análisis global del tema: Mina Narancio y alrededores del paso del Pelado del arroyo Miguelete en el Dpto. de Colonia; cantera Pietracaprina en la zona de Mal Abrigo en el Dpto. de San José; en el arroyo de Los Tapes, a unos 15 Km al NW de la localidad de Mariscala en el Dpto. de Lavalleja a unos 25 Km al SE de la ciudad de Melo en el cerro de La Tuna en el Dpto. de Cerro Largo.

En la figura N°10-14 se muestra en forma esquemática la ubicación de cada una de estas zonas con depósitos de talco, para dar una idea preliminar de la distribución respecto de los principales centros poblados y carreteras. Curiosamente están distribuidos sobre un gran

arco convexo hacia el SE pero eso no responde a ningún proceso geológico único porque los diferentes depósitos poseen origen totalmente dispar.

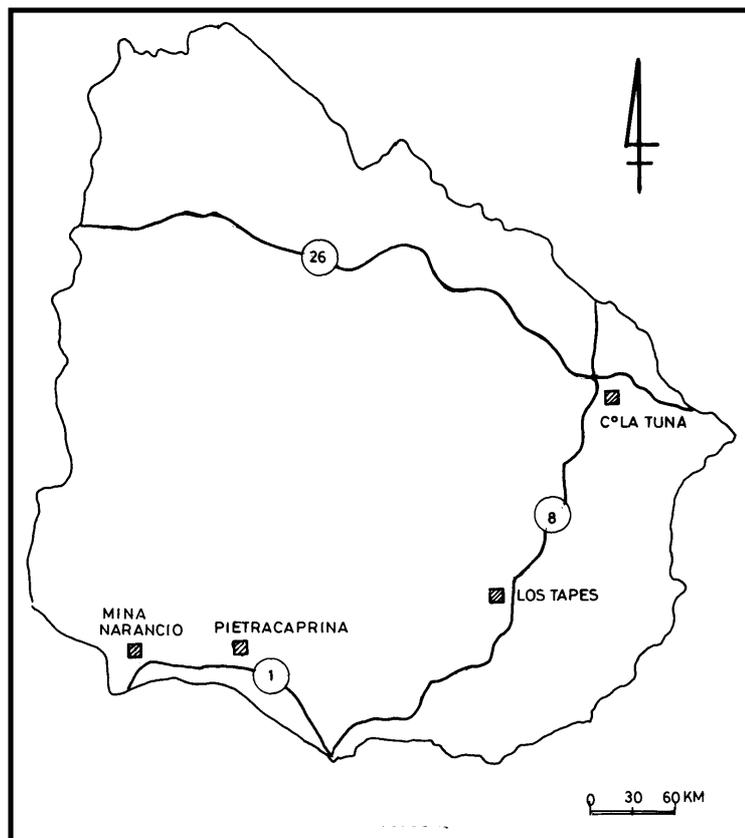


Figura N°10-14. Ubicación de lugares de talco.

A continuación serán descritos los depósitos conocidos, con diferente grado de precisión según la información disponible y sin abarcar la totalidad de las reservas existentes porque en algunas áreas, es seguro que no son conocidos todos los depósitos que allí fueron descubiertos e incluso trabajados hace algunas décadas. El ejemplo típico es el área de Los Tapes (haciendo referencia a los arroyos Tapes Grande y Tapes Chico en el Dpto. de Lavalleja) donde no se dispone de información directa ni ha sido tratado en ninguna publicación oficial hasta ahora.

## Pietracaprina

En esta cantera se explotó durante 1948 a 1958 una roca talcosa masiva (esteatita) formada como un lente concordante con rocas dolomíticas de la formación Paso Severino.

La gran dificultad de explotación de este lente talcoso provenía de la existencia de un filón básico a ultrabásico actualmente transformado en un mineral arcilloso verde (nontronita) discordante con la estructura de los metamorfitos.

El origen del talco en este depósito, no pudo ser reconocido, pero la estructura geológica regional parece indicar que podría asociarse a un proceso de metamorfismo de contacto de las rocas dolomíticas con el complejo intrusivo de Guaycurú (PIÑEYRO Y BOSSI 1998). En la figura N°10-15 se expone gráficamente la estructura geológica regional a escala de semidetalle solamente para mostrar la relación geométrica entre la esteatita y el complejo Guaycurú.

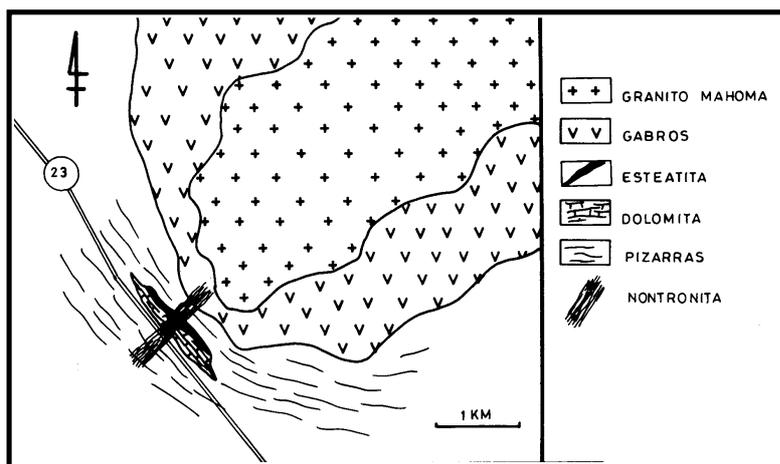


Figura N°10-15. Esquema geológico del borde SW del granito de Mahoma.

La idea de un metamorfismo de contacto se apoya en que el talco es masivo y se desarrolla entre las dolomitas y el cuerpo magmático intrusivo. Es razonable suponer que el filón de nontronita de rumbo NE se deriva de los gabros del complejo Guaycurú y no haya jugado un papel importante en el proceso de reacción, porque la geometría de la masa de esteatita no respeta para nada su morfología.

Este depósito de talco debe considerarse como un indicio de interés geológico, pero no parece que pudiera contener reservas aprovechables. El eventual yacimiento está próximo a un casco de estancia y no existen afloramientos que sugieran algún criterio de evaluación.

## Los Tapes

Estos yacimientos de talco han sido explotados durante décadas y aún continúa su actividad. Hacia fines de la década de los 80 llegaron a ocupar 15 operarios con una producción del orden de 500 toneladas anuales, que representaban el 30 % de la producción nacional.

El origen de estos talcos ha sido asociado a rocas ultrabásicas afectadas por procesos de talquificación (CORONEL et al 1987). Dentro del talco se encuentran frecuentes octaedros perfectamente formados de cromita, lo que apoya la idea de un origen a partir de rocas ultrabásicas. También en la zona es frecuente encontrar rocas de color verde oscuro muy afectadas por fenómenos tectónicos, que soportan ese origen.

Sin embargo, no ha existido ninguna publicación que señale la cartografía geológica suficientemente detallada, como para poder establecer la forma geométrica y el posible origen de las rocas talcosas.

Sería muy razonable montar un programa de estudio en esta zona para definir los parámetros geológico-económicos fundamentales, pues ha producido el 30 % del talco en el país y la extracción se ha hecho en condiciones de cantería a cielo abierto.

El talco es un recurso mineral muy apreciado para elaborar cerámica y soportar productos cosméticos. Puede preverse un incremento de consumo a medida que se siga prefiriendo productos naturales y es por lo tanto fundamental, que Uruguay disponga de cifras sobre sus recursos tanto en calidad como en cantidad.

## Cerro de La Tuna

Esta zona del Dpto. de Cerro Largo contiene depósitos de rocas ultrabásicas serpentinizadas y fuertemente plegadas... en un anticlinorio de plano axial vertical de rumbo EW y eje "b" buzando unos pocos grados al W.

Durante el relevamiento de gran detalle realizado para prospección de cromita se obtuvieron cartas geológicas a escala 1/1000 con observaciones puntuales cada pocos metros. Dicho estudio permitió reconocer importantes fallas de cizalla dentro de las cuales se formaron espesos fragmentos de rocas talcosas de alta pureza.

En la figura N°10-16 se indica la posición geográfica del área en análisis y la carta geológica de detalle adecuadamente reducida para que pueda ser presentada a un tamaño razonable.

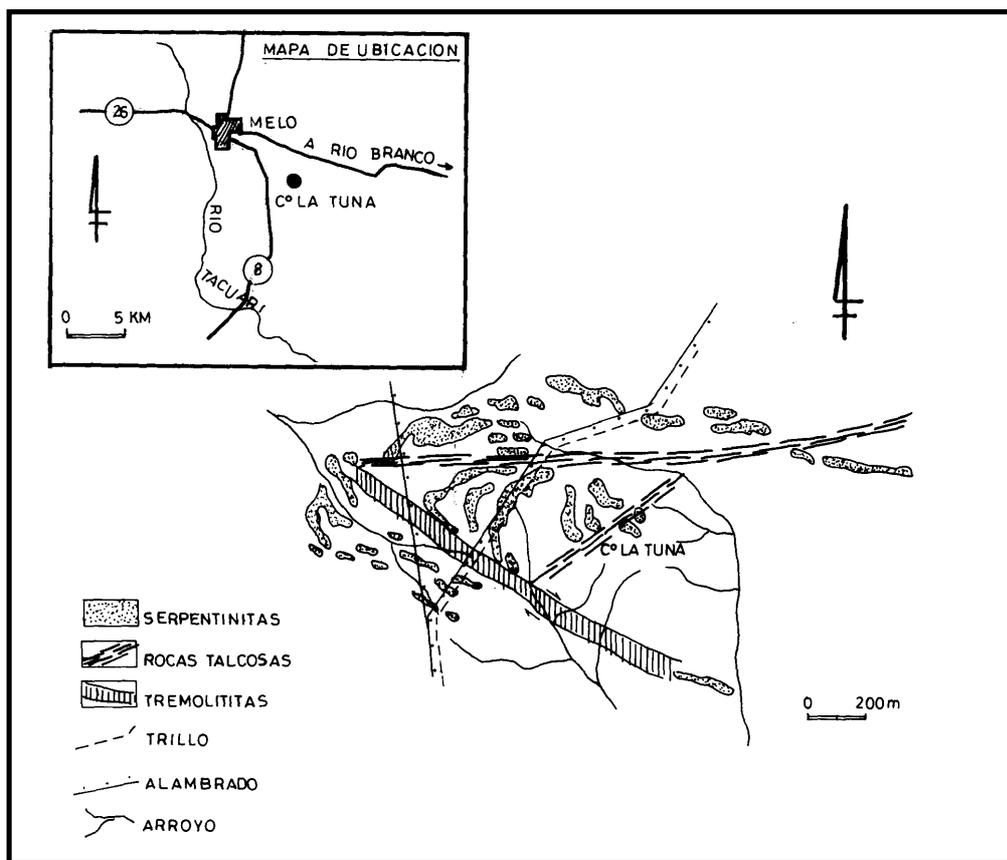


Figura N°10-16. Carta geológica del área del cerro La Tuna, Dpto de Cerro Largo.

Observando la carta geológica de detalle se puede ver una gran falla transcurrente de rumbo EW en el Norte del cerro de La Tuna y otra falla menos importante de rumbo NE que pasa prácticamente por la cumbre del referido cerro. En ambas fallas se desarrollaron abundantes rocas talcosas de pureza elevada, aunque con tremolita como principal impureza. La faja talcosa de la falla de rumbo EW se desarrolla a lo largo de casi 2000 metros con una potencia variable entre 30 y 50 metros con un valor medio de 40 metros. La faja de rumbo NE que pasa por la cumbre del cerro de La Tuna tiene una longitud de 800 metros y una potencia entre 15 y 20 metros.

Ambas fajas se desarrollan con estructura perfectamente vertical, porque no modifican su trazo aunque se poduzcan profundos desniveles topograficos.

Este depósito de talco contiene reservas probables importantes:

Faja EW 2000m x 40m x 30 m = 2:400.000 m<sup>3</sup> 5 millones de ton  
 Faja NE 800m x 18m x 15 m = 200.000 m<sup>3</sup> << >> 500.000 ton

La enorme ventajas es que el talco próximo a la actual superficie del terreno, ya es de calidad utilizable, si se despoja de la tremolita. El espesor de las bandas talcosas es suficientemente amplio como para permitir una cantería mecanizada y es posible acceder a desagües naturales hasta profundidades de por lo menos 10 metros.

El único problema de este yacimiento potencial es la presencia de tremolita dentro de las rocas talcosas. Los estudios preliminares realizados no sugieren ningún control geométrico de la distribución como consecuencia de ello, el aprovechamiento del talco de este depósito está asociado a un proceso de beneficiación que lo libere de la tremolita.

Estos procesos de beneficiación no han sido ensayados ni siquiera a escala de laboratorio, pero resulta evidente que por consideraciones teóricas, la separación de un mineral filitoso de uno prismático, puede lograrse con equipos simples y bajo costo de operación.

El método puede ser en seco con molienda en molino de martillos y ciclones sin necesidad de secado posterior o puede ser en húmedo provocando el desleído de la roca y separando luego por gravedad en cualquier equipo desde tabla inclinada con obstáculos hasta espiral Hmphrey.

En la figura N°10-17 se muestra un sistema automático de molienda que puede perfectamente adaptarse a un proceso de molienda en seco y clasificación por gravedad. En realidad la tremolita y el talco tienen densidades reales similares (talco 2,7 g/cc; tremolita 2,9 g/cc) pero las propiedades aerodinámicas de los granos permiten velocidad de caída diferente.

VIDAL y FERREIRA (1986) realizaron un estudio de prefactibilidad de flotación de talco a partir de diversas materias primas con tenores superiores a 80 % de talco.

El programa preveía producir 40.000 ton/año de talco con las siguientes inversiones y costos de operación en dólares USA de 1986:

INVERSIONES INICIALES		
OBRAS CIVILES	300.000	
EXTRACCION	360.000	(U\$S 9/TON)
BENEFICIACION	1.000.000	
TAREAS DE APOYO	2.000.000	
CAPITAL DE GIRO	130.000	
COSTOS DE OPERACION /AÑO (40.000 TON)		
MANO DE OBRA	215.000	
INSUMOS	300.000	

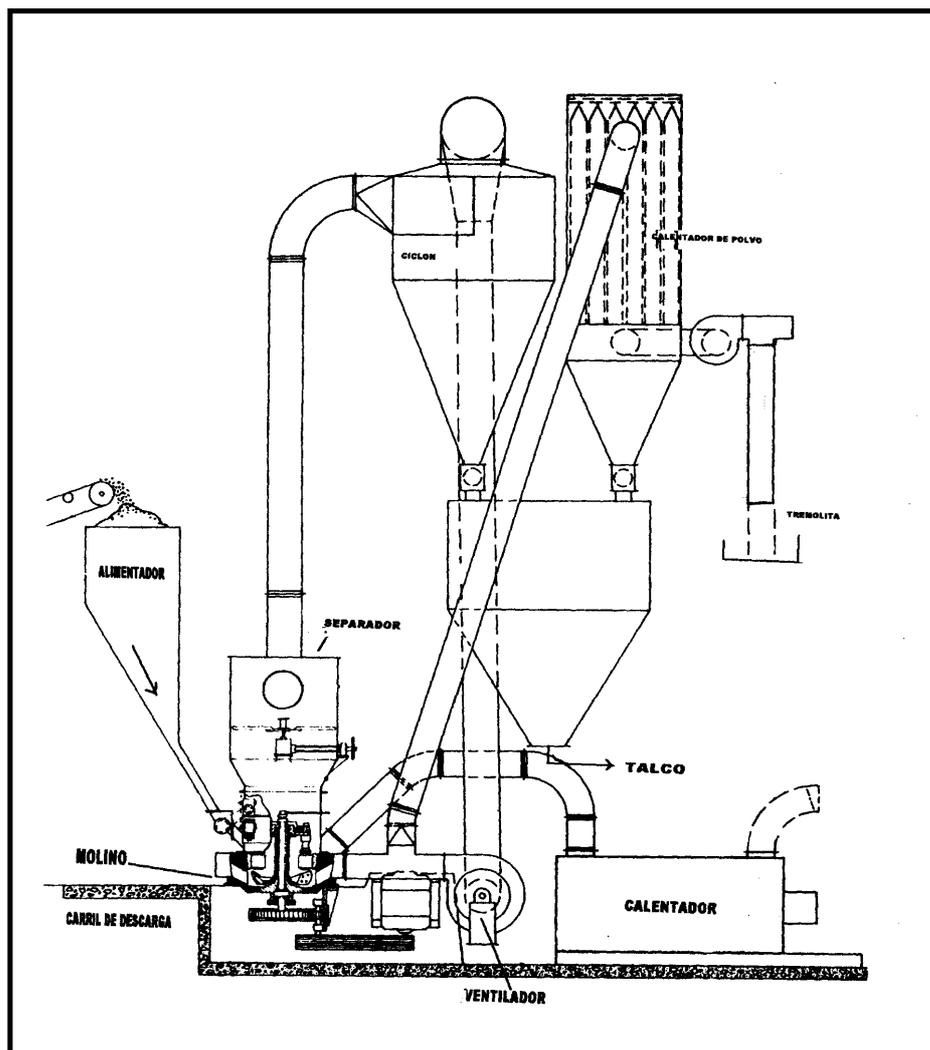


Figura N°10-17. Diagrama de flujo de beneficiación de talco.

El equipo conseguido atendía una etapa de molienda y una usina de beneficiación. La planta de molienda comprende molino de mandíbulas y molino de cono. La usina de beneficiación está compuesta por clasificador de espiral, molino de bolas, 10 hidrociclones, 15 células de flotación de 700 litros cada una y un filtro de tambor.

Tomando como base un precio de venta de U\$S 107/ton, la facturación anual es de U\$S 4:000.000 con una ganancia neta esperada de U\$S 1:400.000.

Los autores de este proyecto de prefactibilidad concluyen que es rentable el proceso ensayado y podría aplicarse a talcos impuros o con impurezas inhabilitantes. El proceso de flotación - aunque no lo expresan concretamente- es hábil para liberar el talco de cierto porcentaje de tremolita.

## **MINA NARANCIO**

Es el único yacimiento realmente conocido a nivel de reservas probadas y probables con todos los parámetros evaluados, tanto los geométricos como los relativos a calidad del material. Es también el único yacimiento que contiene talco de calidad cosmética que el nivel más exigido de pureza porque está destinado al uso humano.

El yacimiento fue citado por varios autores desde WALTHER (1919) pues se comenzó a explotar a cielo abierto en 1906. Los primeros trabajos discutían fundamentalmente la génesis del talco. BOSSI (1978) encara el problema desde el punto de vista geológico-económico pero con un nivel de información muy escaso.

En realidad el primer trabajo geológico-económico sólidamente soportado, fue realizado por la Misión Geológica Uruguayo-Alemana bajo la autoría de ROTH et al (1980). Este proyecto generó un avance considerable en el conocimiento del depósito aunque la confusión del Norte con el S provocó la excavación de un pique en lugar inapropiado y el hallazgo de unos decímetros de roca máfica condujo a suponer una génesis errónea a partir de rocas ultrabásicas.

El Programa de Colaboración Geológica uruguayo-alemana publicó un estudio geomínero del yacimiento ROTH et al (1980) donde plantean en detalle la forma de la enorme excavación cónica superficial y la distribución de las rocas talcosas, vulcanitas básicas, dolomitas y metavulcanitas ácidas sugiriendo la existencia de una falla NW dentro del área de la excavación. En la figura N°10-18 se reproduce con mínimas modificaciones el croquis geológico de la cantera esbozado por los referidos autores.

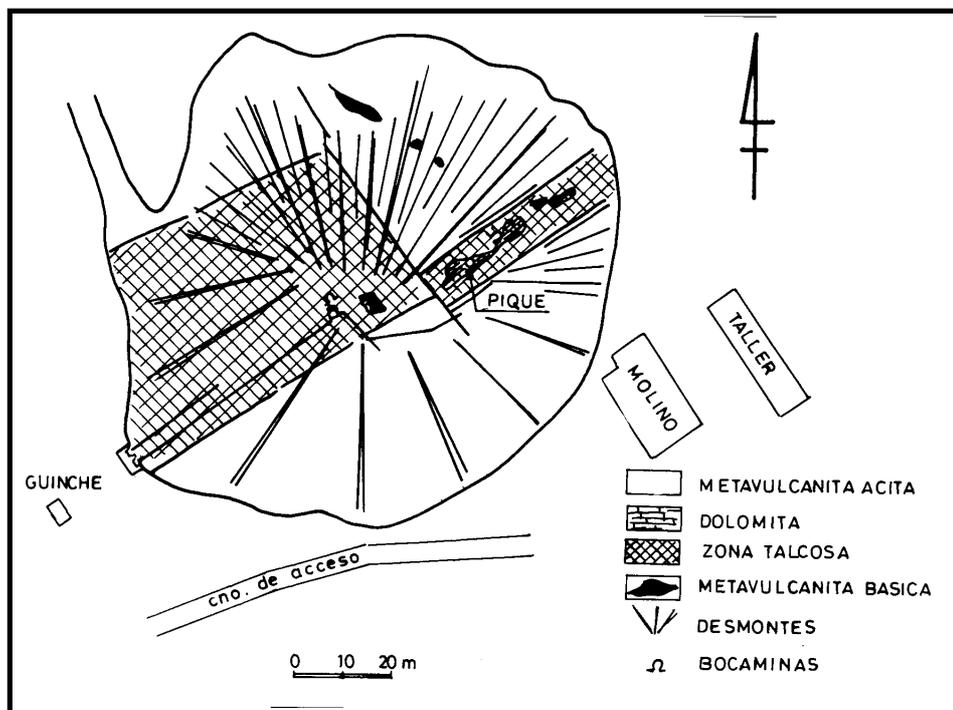


Figura N° 10-18. Croquis geológico de la cantera según ROTH et al (1980).

En la figura N°10-19 se expone, para completar la situación del yacimiento en 1980, el bloque diagrama presentado por ROTH et al (1980) mostrando la posición de las diferentes galerías en sus alturas relativas.

El trabajo durante 8 años de uno de los autores (R:N) permitió un conocimiento geológico muy preciso de los parámetros de interés geológico-económico.

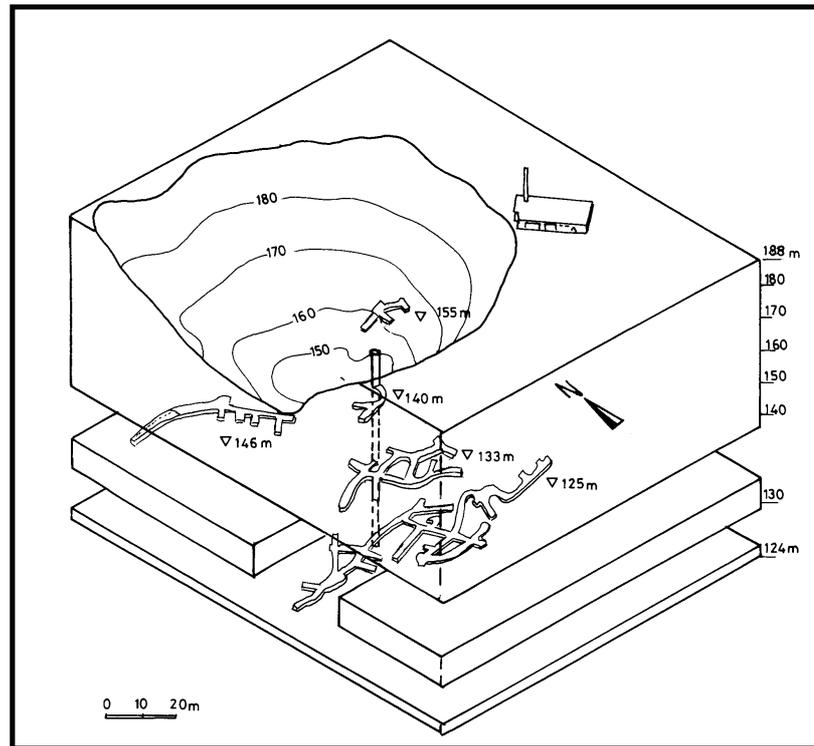


Figura N°10-19. Bloque diagrama del estado de explotación en 1980.

El primer tema abordado fue el relevamiento geológico de los alrededores obteniéndose la carta geológica que se expone en la figura N°10-20.

Esta estructura geológica indica que la distribución de los talcos se produce en cuerpos de rumbo general N50E, asociados de alguna forma a importantes fallas regionales y a bancos de metarriolitas.

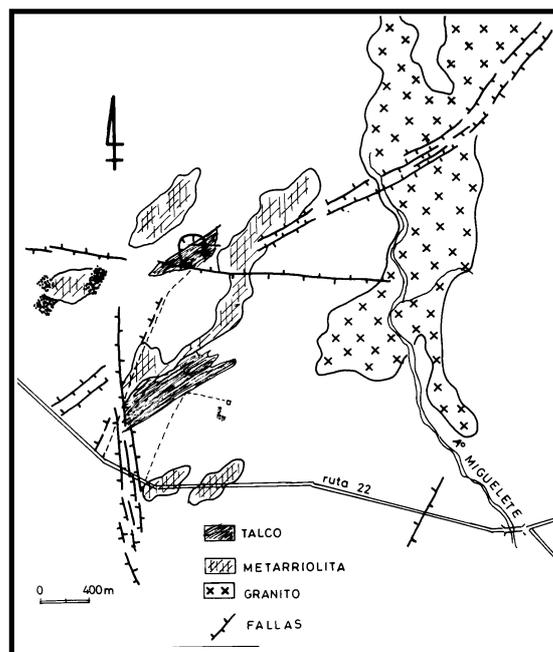


Figura N°10-20. Carta geológica de los alrededores .

El segundo aspecto encarado fue la génesis del material porque su aprovechamiento depende de la distribución espacial y ésta depende en buena medida, del proceso genético.

Un cuidadoso trabajo de relevamiento geológico permitió detectar frecuentes estructuras generadas por fallas de cizalla donde quedaban núcleos resistentes de dolomita y se desarrollaban pátinas de rocas talcosas rodeando esos núcleos (ver figura N°10-21)

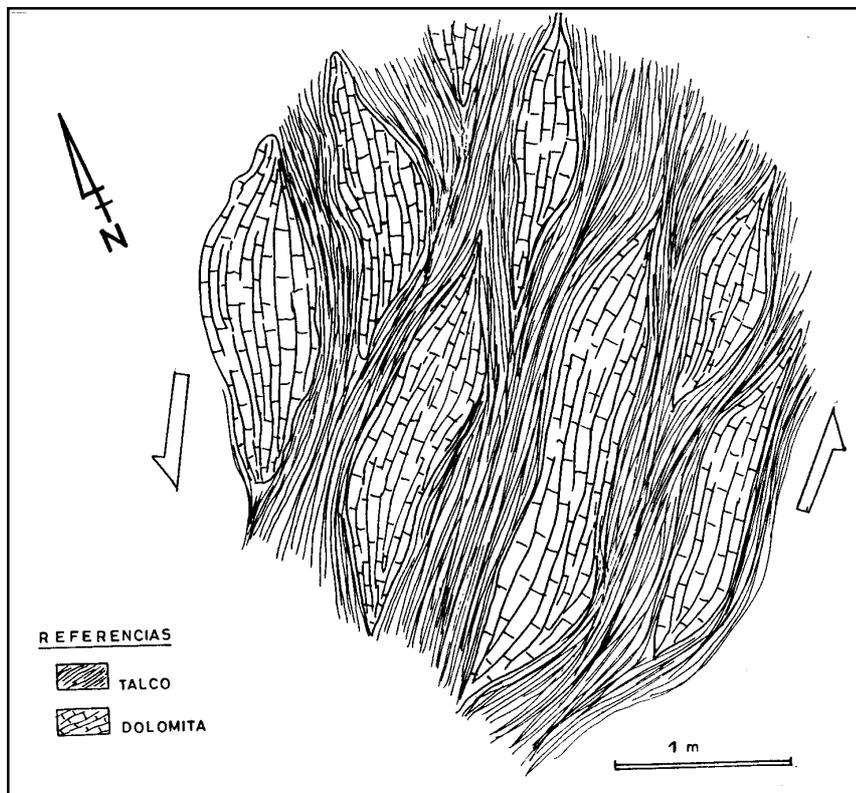


Figura N°10-21. Detalle de estructura de zona de cizalla.

Un intenso trabajo petrográfico superpuesto permitió demostrar que siempre la génesis del talco estaba vinculada a una reacción de metamorfismo regional pues las paragénesis talco + tremolita + dolomita se encontraban con enorme frecuencia.

Estas conclusiones genéticas permitían orientar los estudios hacia la definición de la forma geométrica del yacimiento, la distribución interna de diferentes calidades de material y en definitiva, al cálculo de reservas.

Durante el relevamiento planialtimétrico y geológico de las galerías se distinguieron diversos tipos de materiales:

- Talco de primera calidad, absolutamente puro, opalescente
- Talco de segunda, con 10 a 20 % de impurezas, de color blanco
- Talco de tercera, de color gris y abundantes impurezas
- Dolomita tal cual y/o silicificada
- Masas y venillas de cuarzo
- Metalavas básicas y ácidas

El criterio utilizado se expone gráficamente en una de las galerías (nivel 27 cota 125 m) que en 1992 era la más extensa excavada.(ver figura N°10-22).

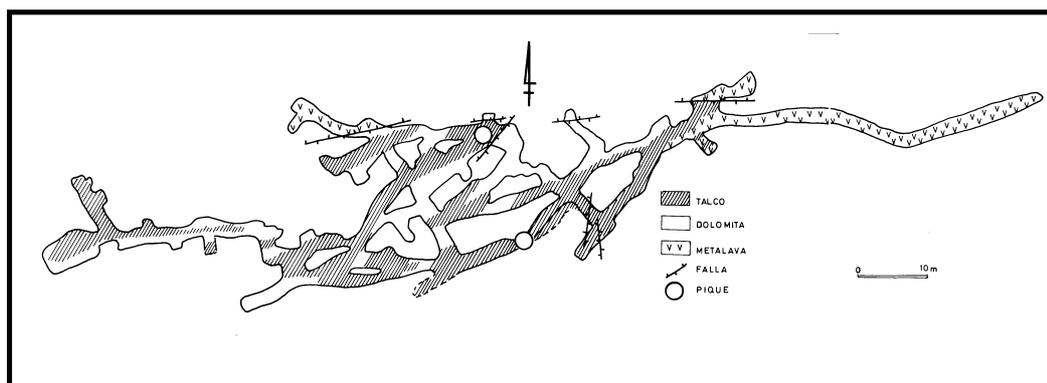


Figura N°10-22. Carta geológica del nivel N°27.

En la figura N° 10-23 se muestra un corte geológico con la distribución de las galerías en los niveles actuales. La galería mostrada en la figura N°10-22 dejó de ser la más profunda y se han excavado actualmente tres galerías por debajo de ella.

El relevamiento detallado de todas las galerías permitió calcular reservas subterráneas por un volumen total de 75.000 toneladas con una estimación de

15.000 ton de talco de primera
25.000 de talco de segunda
35.000 de talcos industriales

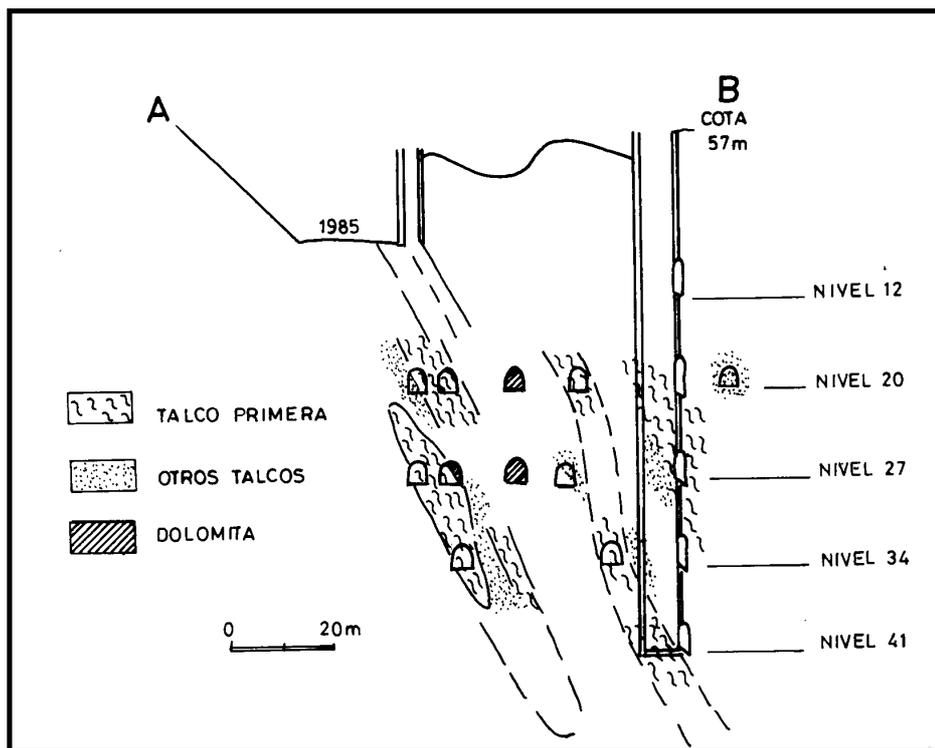


Figura N°10-23. Corte de distribución de galerías (1998)

Este yacimiento es el único en Uruguay que contiene talco de calidad cosmética, que se adapta también para revestimiento de papel. Estos talcos deben reunir condiciones muy estrictas de calidad. Según RIBEIRO CIMINELLI (1986) las 3 principales características del talco cosmético son: blancura, pureza y deslizamiento (slip). Esos talcos cosméticos deben cumplir las siguientes especificaciones:

BLANCURA
INODORO
SIN ASBESTO NI TREMOLITA
ARSENICO MENOS DE 3 ppm
PLOMO MENOS DE 20 ppm
SOLUBLES EN AGUA MENOS DE 0,1 %
SOLUBLES EN ACIDO MENOS DE 6 %
HIERRO MENOS DE 100 ppm
pH EN AGUA MENOS DE 9,5
SIN CONTAMINACION BACTERIOLOGICA

La forma geométrica del yacimiento es típicamente lenticular con plano de rumbo N60E buzando 70°SE.

El estudio de los distintos materiales en cada galería ha permitido representar la distribución espacial en una sección de rumbo NW - SE (perpendicular al lente) en una altura de 20 metros y un ancho de 30 metros como se expone en la figura N°10-24.

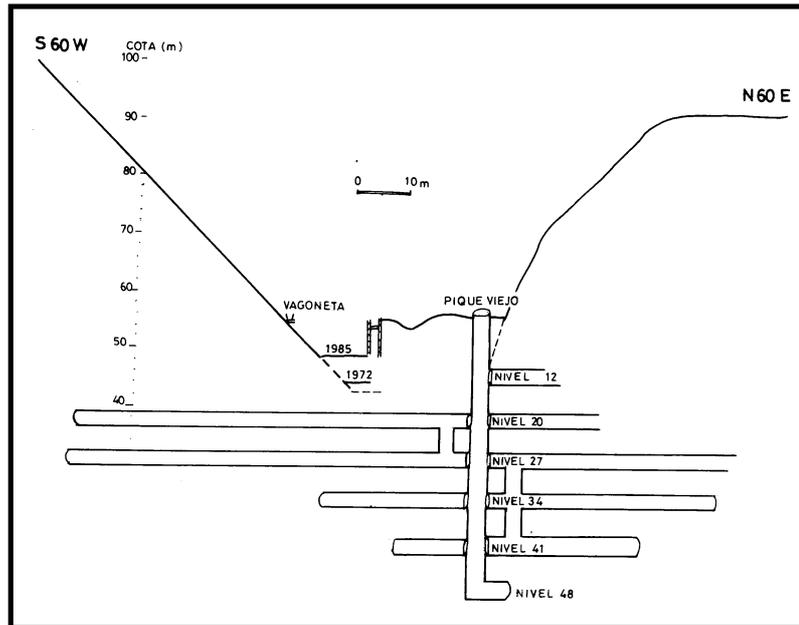


Figura N°10-24. Corte geológico del lente de talco de Minas Narancio.

En la figura N°10-25 se han proyectado en el plano horizontal las tres principales galerías así como el borde del primitivo socavón y con ello fue posible definir con aceptable grado de precisión la forma geométrica del lente de talco, mostrando a su vez, la existencia de volúmenes importantes aún no investigados en el extremo SW.

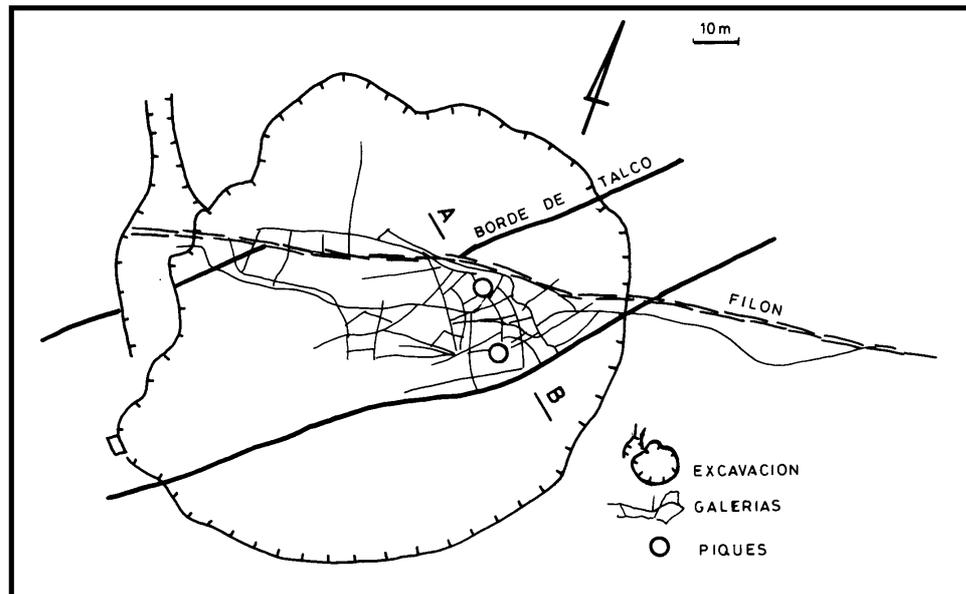


Figura N°10-25. Forma geométrica del lente de talco.

Además del lente explotado en galerías subterráneas para la obtención de talcos de alta calidad, se vió en el dibujo de la figura N°10-20 que existía otra banda conteniendo rocas talcosas al Sur del lente en explotación. Una enorme falla de rumbo NS corta abruptamente el desarrollo de estas rocas hacia el Oeste.

Esta segunda banda presenta una enorme potencia y extenso desarrollo longitudinal, pero no está constituida solamente por rocas talcosas sino que estas se encuentran intercaladas con metarriolitas y otras rocas estériles.

En la figura N°10-26 se reproduce una carta geológica relevada en 1995 por los autores de este ensayo para mostrar la distribución espacial de las rocas con alto contenido de talco. Las reservas de esta zona no son conocidas con exactitud cuantificable, porque se dispone solamente de información en dos dimensiones y el buzamiento para una extrapolación dudosa del comportamiento en profundidad. Es posible solamente estimar las reservas probables a partir del área ocupada por las rocas talcosas y una estimación de profundidad del orden de 15 metros.

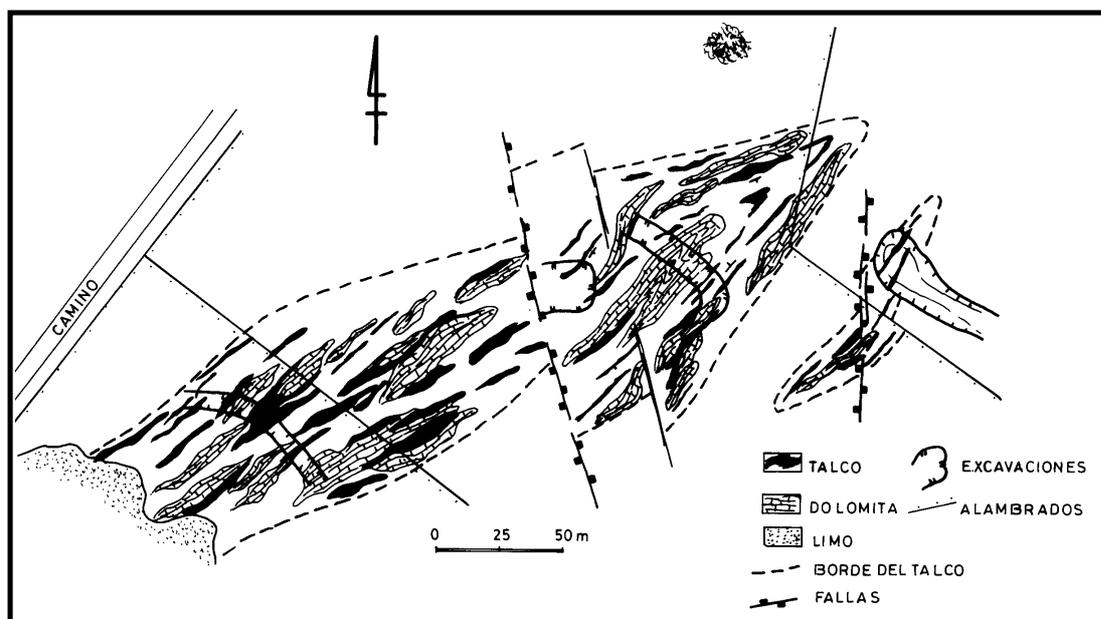


Figura N°10-26. Carta geológica del lente que acompaña Mina Narancio.

Haciendo esas consideraciones es posible estimar un volumen de reservas probables de 150.000 toneladas.

El área ocupada por rocas con alto contenido en talco es de aproximadamente 4000 metros cuadrados distribuidos en varias decenas de lentes de 20 a 60 metros de longitud y 4 a 15 metros de potencia.

Al admitir una profundidad de 15 metros para extrapolar con certeza el contenido de talco en los cuerpos lenticulares, es que se pudo calcular la cifra de reservas probables de 60.000 metros cúbicos, equivalentes a 150.000 toneladas.

Este yacimiento es de gran valor potencial teniendo en cuenta que los valores FOB internacionales, según el boletim de Preços del DNPM (Brasil) en 1996 eran los siguientes en dólares/tonelada:

TALCO DE PERFUMERIA SIN MOLER	207
TALCO DE PERFUMERIA 325 MALLAS	320
INDUSTRIA CERAMICA SIN MOLER	22
USO COSMETICO 325 MALLAS	280
PARA PAPEL Y CELULOSA 325 MALLAS	370
INDUSTRIA DEL JABON DE TOCADOR	185

## 10-4-BENTONITA

El término bentonita aplicado con criterio industrial restrictivo se aplica exclusivamente a las arcillas montmorilloníticas que tienen Na<sup>+</sup> como catión de intercapa. Esa estructura determina propiedades especiales que permiten que las partículas de arcilla formen puentes iónicos y mantengan suspensiones estables durante decenas de horas o de días.

El gran uso de esas arcillas es para mantener en suspensión partículas de minerales o productos químicos que interesa que no sedimenten.

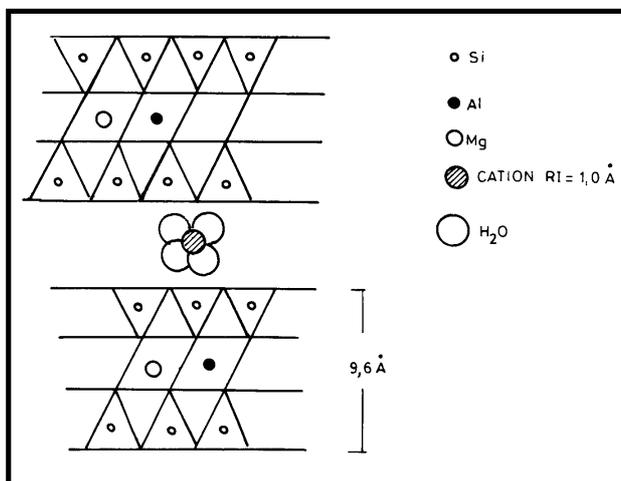
Así por ejemplo, el barro de las perforaciones de petróleo contiene agua, bentonita y baritina finamente molida, para generar columnas líquidas de alta viscosidad y alta densidad que impiden el ascenso de petróleo a presión en el caso de ser atravesada una napa por el sondeo.

También se usa un barro de bentonita en agua ahora sin baritina para las perforaciones que trituran las rocas que van atravesando, de modo de facilitar la puesta en suspensión de los fragmentos generados y eliminados con menos esfuerzo. Otro uso normal es para mantener en suspensión partículas de insecticidas, plaguicidas, etc y facilitar su distribución por medios mecánicos.

El término bentonita es usado corrientemente para designar cualquier arcilla montmorillonítica, es decir, cualquier arcilla expansiva aunque el catión de intercapa no sea Na<sup>+</sup> ni Ca<sup>++</sup> en esta terminología bentonita es equivalente a montmorillonita, lo que no parece correcto para los autores de este ensayo, pero es necesario admitir que ese uso se ha generalizado a tal punto que se decidió titular bentonita a este capítulo para facilitar la comprensión inmediata del tema tratado.

Desde nuestro punto de vista, lo correcto hubiera sido usar el título montmorillonita pero en la jerga industrial no es de comprensión inmediata.

La montmorillonita es un mineral arcilloso con una estructura compuesta por dos capas de tetraedros de SiO y una capa central de octaedros de Al-Mg-O-OH.



Esta estructura genera un déficit de cargas positivas que debe ser neutralizado por el ingreso de cationes Na<sup>+</sup> y/o Ca<sup>++</sup>.

En la figura N°10-27 se expone gráficamente la distribución iónica actualmente aceptada para las montmorillonitas en general. Cuando el catión de intercapa es Na<sup>+</sup> exige doble cantidad de núcleos solvatados que cuando el catión es Ca<sup>++</sup> por la diferencia de valencia aunque ambos iones tienen el mismo radio y se solvatan con el mismo número de moléculas de agua.

Figura N°10-27. Estructura interna de las montmorillonitas

La fórmula química de las montmorillonitas uruguayas (BOSSI, 1960) sería la siguiente:



La fórmula teórica según GRIM (1953) tomando en cuenta que el déficit de carga en la estructura se genera exclusivamente en la capa octaédrica, difiere débilmente de la fórmula real encontrada por análisis químicos y es la siguiente:



Las bentonitas naturales con Na<sup>+</sup> como catión de intercapa tienen las enormes ventajas de un posible uso industrial directo sin necesidad de tratamientos intermedios. Resultan entonces un recurso mineral con mayor valor intrínseco y aceptan costos de extracción más elevados.

Las montmorillonitas cálcicas como las existentes en Uruguay, no tienen uso industrial directo y por lo tanto soportan menores costos de extracción, pero tienen la ventaja de poder ser materia prima industrial para 3 productos de mercado mundial estable: bentonita s.s.; arcillas decolorantes y catalizadores.

Estos minerales arcillosos se encuentran en la naturaleza de diversas formas, pero son aprovechables para la industria extractiva cuando se desarrollan en lentes de muy alta pureza. Estos lentes de alta pureza se vinculan geológicamente a depósitos lagunares donde existe poco aporte de material detrítico arenoso y en cambio abundante aporte de cenizas volcánicas que por meteorización subacuática se transforman en montmorillonita.

La composición química de estas arcillas en Uruguay fueron publicadas por (BOSSI, 1960) conteniendo:

SiO <sub>2</sub> % 71	MgO % 1	MnO % 0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % 14	CaO % 2,3	TiO <sub>2</sub> % ----
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % 2	Na <sub>2</sub> O % 0,7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % ----
FeO % 0,1	K <sub>2</sub> O % 0,2	H <sub>2</sub> O % 7

Esta composición puede corresponderse bien con cenizas volcánicas andesíticas con pequeño aporte de cuarzo y feldespatos detríticos. El análisis de muestras de montmorillonita uruguaya separando las impurezas detríticas, ha dado resultados químicos bien diferentes (CORONEL et al 1987)

SiO <sub>2</sub> % 49	CaO % 4,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % 18	MgO % 2,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % 1,5	H <sub>2</sub> O % 24

Desde el punto de vista geológico, estos lentes de montmorillonita cálcica de alta pureza pertenecen a la formación Yaguarí como fue demostrado ya en la primera monografía publicada por BOSSI (1966). Dentro de la referida formación de edad pérmica superior, se han detectado muchos indicios, pero los depósitos más importantes fueron definidos en los alrededores de la localidad de Bañado de Medina en el Dpto. de Cerro Largo. Con la reformulación de la fm Buena Vista para designar las areniscas gruesas y conglomerádicas del techo de la formación Yaguarí (ver por ejemplo BOSSI et al 1998), la posición de estos lentes montmorilloníticos quedan en el techo de la fm. Yaguarí.

En la figura N°10-28 se plantea un perfil teórico ilustrativo de la posición estratigráfica de estos lentes de arcilla, compilando información de diversas fuentes: perfiles naturales, desmontes carreteros, pequeñas canteras y perforaciones realizadas durante el programa de colaboración Uruguayo-Alemana en 1980.

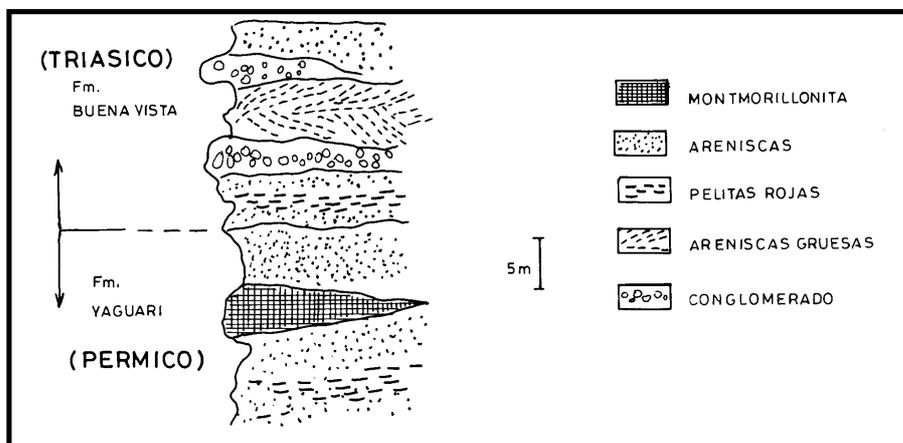


Figura N°10-28. Perfil geológico para mostrar posición estratigráfica de los lentes de montmorillonitas.

La primera monografía (BOSSI 1966) contenía mucha información sobre la naturaleza mineralógica de la arcilla, sus posibles transformaciones industriales y métodos de control del proceso, usando Análisis Térmico Diferencial y diagramas de RX.

Fue así demostrado que el mineral netamente dominante en las fracciones arcilla (menor a 5 micras) y limo (entre 5 y 50 micras) era montmorillonita Ca<sup>++</sup>, como se observa en la curva de Análisis Térmico Diferencial de la figura N°10-29.

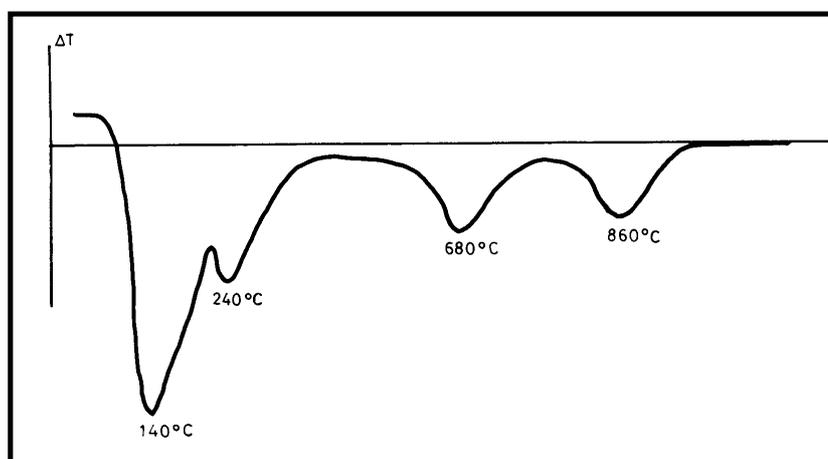


Figura N°10-29. Curva de ATD de la montmorillonita de bañado de Medina.

También se demostró la forma lenticular de estos depósitos y su asociación con concreciones de carbonato de calcio de forma esferoidal.

GOMEZ RIFAS et al (1980) realizaron un trabajo regional abarcando un área de 30 Km<sup>2</sup> en los alrededores de la localidad de Bañado de Medina en el Dpto. de Cerro Largo. Cartografiaron a escala 1/20.000 la unidad dentro de la formación Yaguari, portadora de los lentes de montmorillonita e identificaron 4 afloramientos además del descrito en detalle por BOSSI (1960).

En la figura N°10-30 se muestra la cartografía geológica de GOMEZ RIFAS et al (1980) utilizando la actual terminología estratigráfica y simplificando unidades sin interés geológico-económico. Se separaron solamente 4 unidades:

- Pelitas micáceas grises de la fm Melo;
- Areniscas finas, muy finas y medias, arcósicas, micáceas de colores rojos que contienen los lentes montmorilloníticos y pertenecen a la fm Yaguarí;
- Areniscas medias, gruesas y conglomerádicas de la fm Buena Vista;
- Sedimentos cenozoicos.

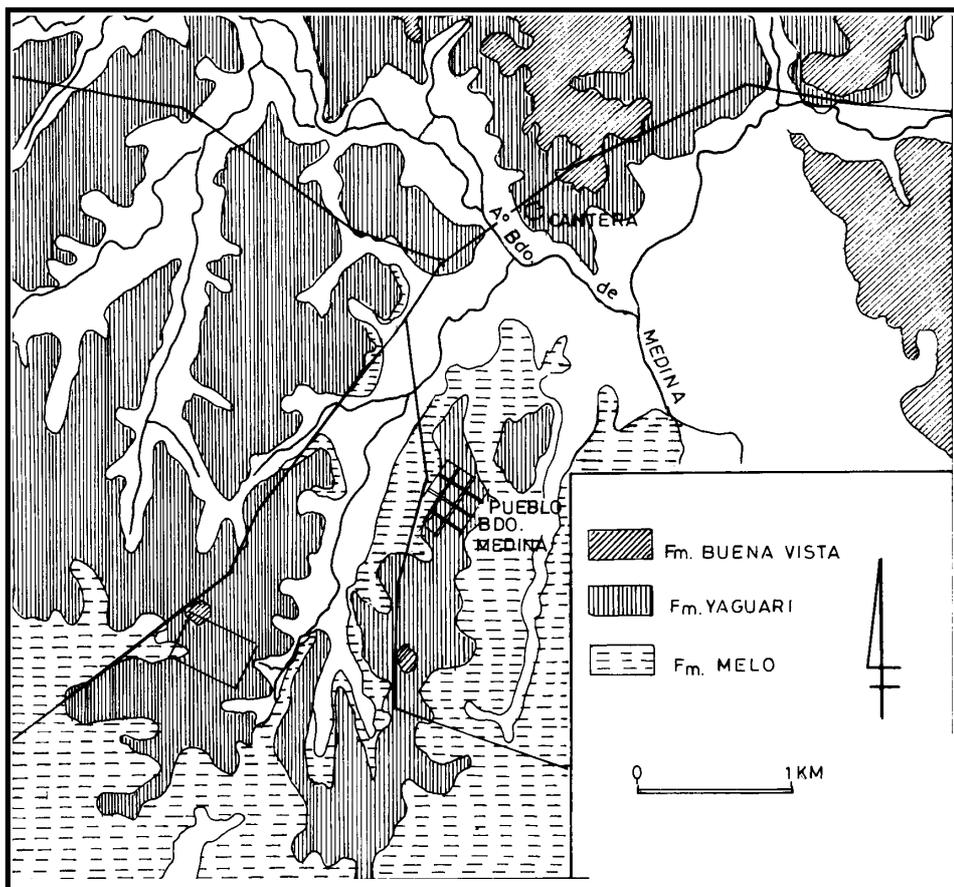


Figura N°10-30. Carta geológica de los alrededores de bañado de Medina, modificada de GOMEZ RIFAS et al (1980)

En la figura N° 10-31 se expone un corte geológico publicado por los autores referidos para mostrar la distribución espacial subterránea del material montmorillonítico.

En realidad, en toda esta zona se ubican los únicos depósitos hasta hoy conocidos en Uruguay, que tienen desarrollo de volumen y calidad como para construir un recurso mineral de gran interés.

El estudio de GOMEZ RIFAS et al (1980) permitió demostrar además que la aplicación de perforaciones, extendió el área conocida y aumentó el volumen de reservas a cifras cercanas al triple de las evaluadas hasta entonces.

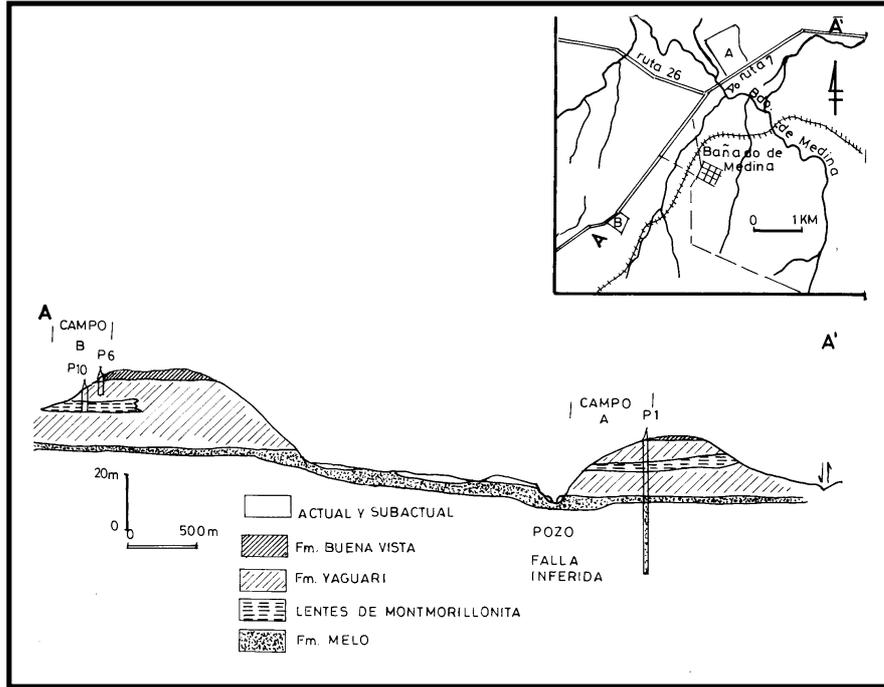


Figura N°10- 31. Corte geológico según los autores referidos.

Estos autores, durante el desarrollo del Programa de Colaboración Geológica Uruguayo-Alemana estudiaron las dos áreas que se identificaron con las letras A y B de la figura N° 10-30.

En la zona A los estudios tomaron como base el trabajo de BOSSI (1990) y se realizaron perforaciones en los alrededores con preferencia hacia el NW. En la figura N°10-32 se expone gráficamente los trabajos realizados y los resultados obtenidos.

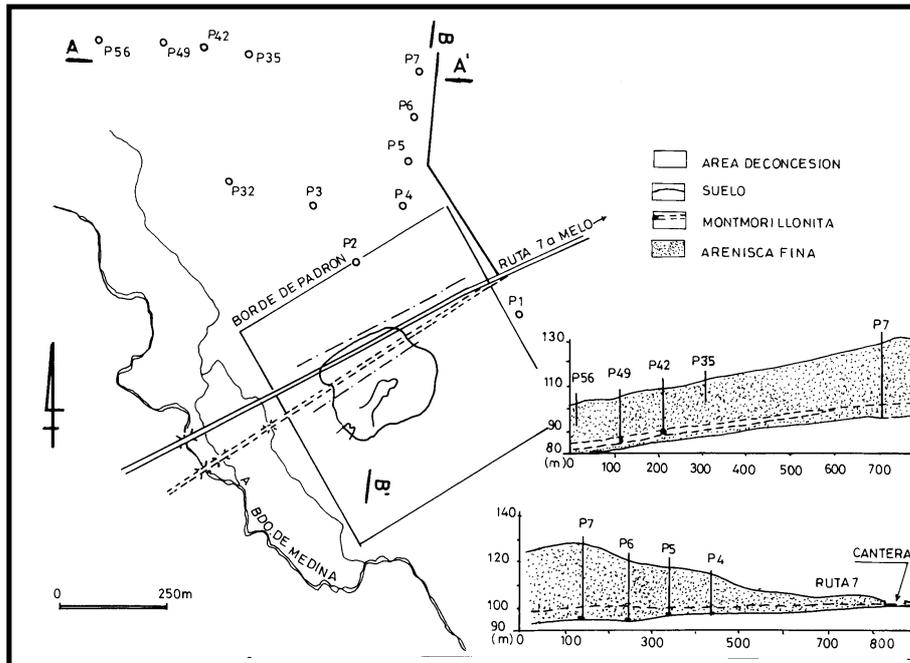
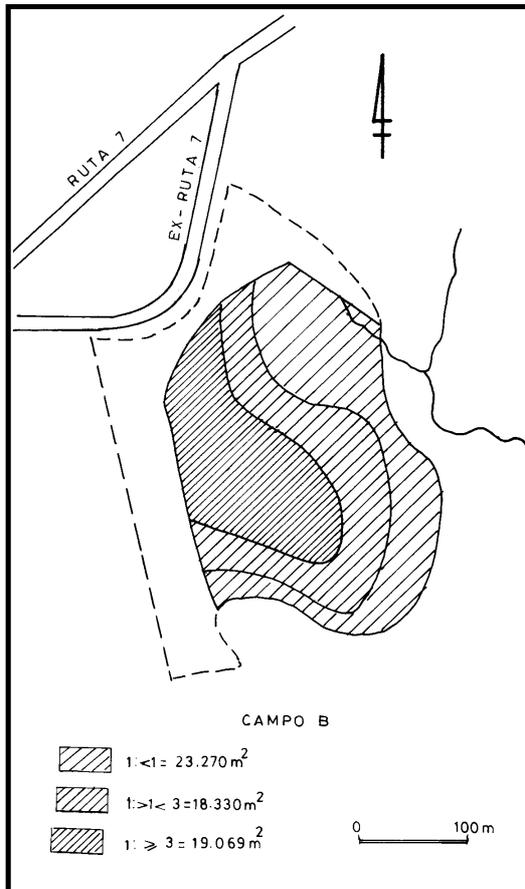


Figura N°10-32. Estructura geológica regional del lente original de Bañado de Medina según GOMEZ RIFAS et al (1980)

En el corte AA' se puede observar que en el extremo NW del área estudiada, el sondeo a rotación atravesó 3.30 m de montmorillonita debajo de 12 metros de areniscas y limos superficiales.

En realidad, la misión alemana encontró un volumen muy importante de montmorillonita de alta pureza hacia el NW del yacimiento original, pero debajo de una cobertura que en la época (año 1980) no conducía a factibilidad rentable de explotación.

Las reservas subeconómicas encontradas se ubicaron alrededor de 100.000 toneladas. A efectos comparativos, las reservas probadas del yacimiento sobre la ruta nacional N° 7 eran 15.000 toneladas sin cobertura y su explotación dio resultados muy satisfactorios.



Estos trabajos preliminares en el campo A condujeron a realizar estudios equivalentes en la otra zona de afloramientos conocida, que se indicó en una figura anterior como zona B, a unos 350 m al Sur del anterior área.

En esta zona se realizaron 10 perforaciones a rotación cuya ubicación se indica gráficamente en la figura N° 10-33.

En esta área el lente de montmorillonita presenta espesores de hasta 5 metros y posee estructura prácticamente horizontal, adelgazándose hacia el Sur solamente por los fenómenos de erosión posterior.

La capa montmorillonítica se encuentra entre cotas + 121 y +130 m lo que fue confirmado con perforaciones manuales y transformó las reservas probables en probadas.

Aplicando la formula de PROKOFJEW propuesta en 1953, GOMEZ RIFAS et al (1980) llegaron a un valor del espesor medio de 2,70 m.

Figura N°33. Esquema de trabajos realizados en zona A

$$M = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \cdot I_n}{\sum_{n=1}^N I_n}$$

M= potencia media  
 donde: m= potencia en cada perforación  
 I= perímetro de influencia

Esto condujo a un cálculo de reservas probadas de 300.000 ± 20.000 ton para el total del material montmorillonítico de alta pureza. Los autores referidos discriminan también los volúmenes de reservas para cada zona según la relación montmorillonita / cobertura:

≥ 1	60.000 m <sup>3</sup>	150.000 ton
≥ 0,4	50.000 m <sup>3</sup>	120.000 ton
≥ 0,25	50.000 m <sup>3</sup>	120.000 ton

Los resultados de este estudio dieron valores concretos sobre un yacimiento de importante tonelaje y además, se generaron expectativas de posibles nuevas reservas, porque el nivel es extenso y bastante constante.

GOMEZ RIFAS et al (1980) concluyen que el potencial de la región es muy elevado, pudiéndose estimar en más de un millón de toneladas. Según las necesidades, es posible prospectar otras tareas en detalle, con altas probabilidades de éxito.

La montmorillonita de muy alta pureza de estos depósitos de los alrededores de la localidad de Bañado de Medina en el Dpto de Cerro Largo, no tiene uso directo, pero representa la materia prima industrial para elaborar productos con varias propiedades esenciales como para tener uso en varias industrias:

PROPIEDAD	APLICACION
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO	TIERRAS DECOLORANTE
PROPIEDAD ABSORBENTES	REFINACIÓN DE ACEITES
GRAN AREA SUPERFICIAL	AGENTES CATALITICOS
PODER DE SUSPENSION Y VISCOSIDAD	BARROS DE PERFORACION, EMULSIONES
TIXOTROPIA	SOPORTE DE PAREDES DE PERFORACIONES
PROPIEDADES LIGANTES	MOLDES DE FUNDICION, PELETIZACION DE MINERALES DE HIERRO Y RACIONES DE ANIMALES
PLASTICIDAD	ADHESIVOS

Las propiedades absorbentes de capacidad de intercambio ionico se vinculan a la transformación de la montmorillonita en tierra de fuller que tiene H<sup>+</sup> como catión de intercapa.ver figura N° 10-34.

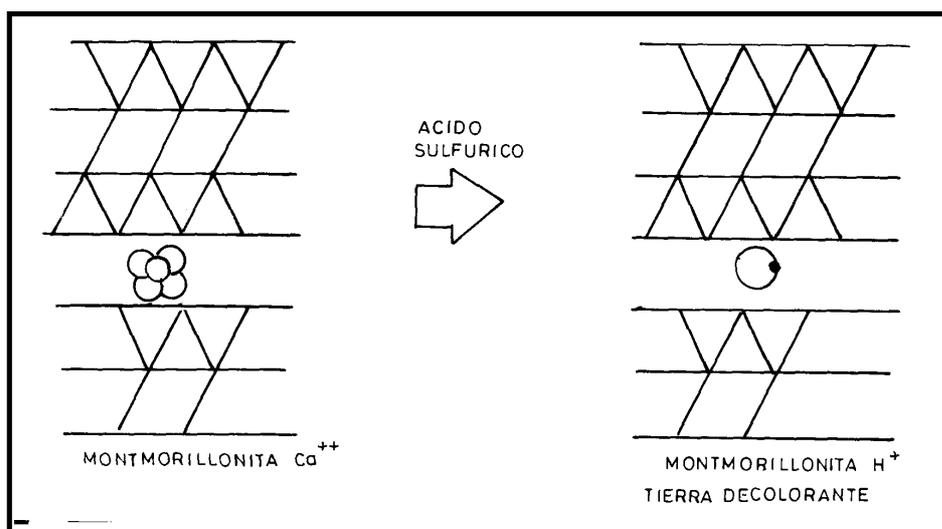


Figura N°10-34. Esquema de preparación de tierra decolorante.

Estas arcillas activadas con  $H^+$  tienen la propiedad de mantenerse en suspensión mientras son agitadas y flocula rápidamente cuando cesa la agitación. Esta propiedad les permite adsorber y absorber impurezas de los aceites y arrastradas con ellas en la floculación.

El método de activación consiste en quitar el  $Ca^{++}$  de la intercapa y sustituirlo por  $H^+$ . Muchas técnicas pueden seguirse para lograr este propósito pero la más adecuada para la arcilla de Bañado de Medina fue puesta a punto por (BOSSI 1960).

Luego de eliminar por decantación el 5 - 10 % de arena que contiene la arcilla original, se agrega 15 % en volumen de ácido sulfúrico y se hierve durante una hora.

Se lava hasta pH neutro y luego se seca y muele a malla 200 (menos de 80 micras). En estas condiciones la decoloración de aceites se obtiene con 5 % de arcilla a temperatura de 60 - 70 °C.

Las restantes propiedades señaladas en el cuadro se consiguen cuando la montmorillonita  $Ca^{++}$  se transforma en  $Na^+$  por eliminación del catión original y sustitución por  $Na^+$ . Esta arcilla es la que al comienzo del tratamiento del tema fue considerada como bentonita propiamente dicha. La reacción es la que se señala en forma esquemática en la figura N° 10-35.

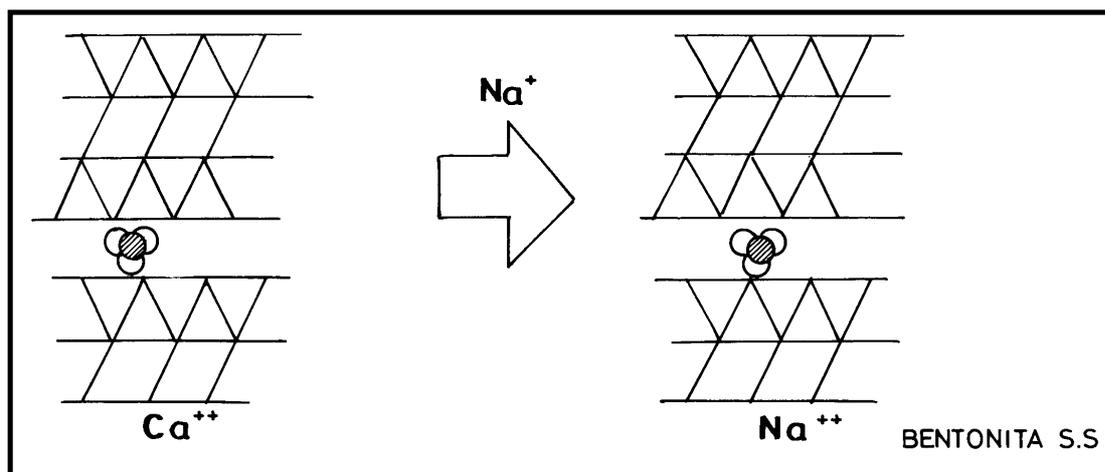


Figura N°10-35. Esquema de transformación en bentonita

Este proceso se consiguió en la empresa Sud-Chemie de Hannover con un tratamiento con 4% de carbonato de sodio y en nuestro laboratorio por cantidades equivalentes pero con tratamiento a 60°C.

Según la empresa alemana que realizó los ensayos en 1979 y fueron publicados por GOMEZ RIFAS et al (1980), luego de la activación alcalina la arcilla presenta las siguientes características:

CONTENIDO EN AGUA	8-9 %
ALCALINIDAD	2-4 %
RESIDUOS 74 MICRAS	25-35 %

pH (8 % DE SOLIDOS)	9-10%
VISCOSIDAD	DEPOSITA
HINCHAMIENTO INMEDIATO	7-10 ML
VALORES TECNICOS DE FUNDICION SEGUN NORMAS DIN	
CONDENSABILIDAD	45 %
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CRUDO	6-8 N/cm <sup>2</sup>
RESISTENCIA AL ESTIRAMIENTO EN ESTADO PLASTICO	0,15 N/cm <sup>2</sup>
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN SECO	24-34 N/cm <sup>2</sup>
ESTABILIDAD TERMICA A 550°C DURANTE 30 MINUTOS	
CONDENSABILIDAD	45 %
RESISTENCIA A LA COMPRESION	3,4-4,6 N/cm <sup>2</sup>
RESISTENCIA AL ESTIRAMIENTO	0,1 N/cm <sup>2</sup>

Las conclusiones extraídas de los datos de estos ensayos fueron las siguientes

- La capacidad de hinchamiento y valores de tixotropía no son aptas para empleo en perforación de petróleo
- Las propiedades ligantes permiten su uso como pasta de moldeo en los talleres de fundición y elaboración de piezas metálicas, así como peletización de minerales de hierro y alimentos de animales
- La resistencia al estiramiento en estado plástico es relativamente baja y ello puede generar algunas dificultades en la peletización.

A pesar de esos datos, el tema deberá ser retomado con más detalle porque la arcilla original es una montmorillonita perfecta que cuando se le extraiga todo el Ca<sup>++</sup> de intercapa y se reemplace por Na<sup>+</sup>, deberá formarse una bentonita de primera calidad. Todo dependerá de encontrar la técnica concreta para producir correctamente el intercambio catiónico.

Otro uso importante de esta montmorillonita es para producción de catalizadores de craking de petróleo y otras reacciones como lo demostró SERGIO (1990) para la montmorillonita uruguaya.

El tratamiento de estas montmorillonitas para ser empleadas como catalizadores fue encarado por SERGIO (1990) y RUBINO (1992). La arcilla presenta capacidad de intercambio catiónico del orden de 110 meq/100gramos, con neto predominio de Ca<sup>++</sup> (80 meq/100g) y Mg<sup>++</sup> (30 meq/100g).

El hierro contenido es sólo Fe<sup>+++</sup> y por espectroscopía Mosbauer se determinó un valor de 0,2 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Se encuentra en coordinación octaédrica aunque una pequeña proporción ocupa posición tetraédrica.

Las arcillas Na<sup>+</sup> obtenidas por tratamiento con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> o NaCl dan igual espaciado 001 de 14 Å pero se suspenden fácilmente en agua.

Para obtener una buena formación de pilares entre las láminas arcillosas es necesario mantener la solución pilareante con una relación molar OH/Al=2 en contacto con una suspensión de arcilla de 5 g/l durante 3 horas a 80°C. La suspensión debe tener pH=5,5 para lograr elevada área específica con buena estabilidad térmica.

La arcilla pilareada debe calentarse a 550°C para deshidratar los pilares y fijarlos a las láminas. La altura de los pilares, cuando esta calcinación se produce dentro de las 24 horas de preparadas, varía entre 7,2Å (según datos de absorción de nitrógeno) y 8Å a partir de

medidas cristalográficas. El área superficial alcanza valores de 400 m<sup>2</sup>/g y distribuciones de tamaño de poros con neto predominio alrededor de 7,2Å.

Estos trabajos permiten obtener catalizadores a partir de la montmorillonita de los alrededores de Bañado de Medina. La técnica utilizada es la intercalación de polímeros catiónicos voluminosos entre las láminas individuales, generando sólidos que pueden usarse como catalizadores, soporte de catalizadores y/o tamices moleculares.

Los poros de las arcillas pilareadas son mucho más grandes que los que poseen las ceolitas de uso corriente en catálisis y por ello producen mayor conversión en reacciones de craking catalítico de petróleo. En cambio, las ceolitas se regeneran luego del uso por calentamiento hidrotermal, lo que no es aceptado por las arcillas pilareadas.

Existe abundante bibliografía indicando la capacidad de uso de estas arcillas pilareadas como catalizadores de muy diversas reacciones además del craking de petróleo.

La técnica de pilareado se basa en la propiedad de expansión de las montmorillonitas y en la propiedad de intercambio catiónico. El pilareado sustituye los cationes de intercapa por polímeros policatiónicos voluminosos que son retenidos por las láminas de arcilla manteniendo separación entre láminas a una distancia constante, aumentando el área específica. Las especies poliméricas más utilizadas como agentes pilareantes son policationes de Al, Zr, Ti, Fe y Cr. Ver figura N° 10-36.

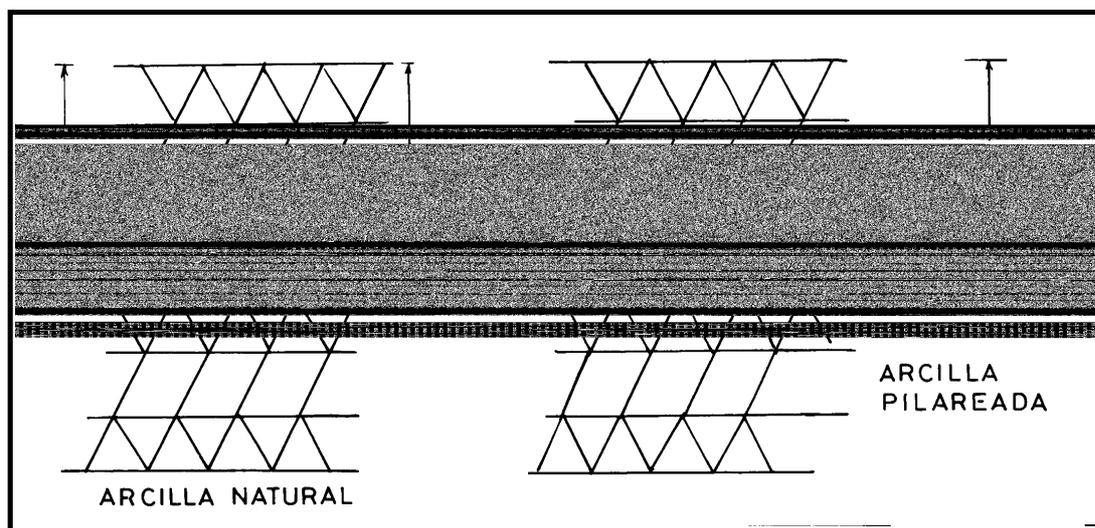


Figura N°10-36. Esquema estructural del proceso de pilareado de arcillas.

El agente pilareante más utilizado es un polihidroxocación de Al<sup>+++</sup> obtenido a partir de la hidrólisis básica de cloruro de aluminio.

A modo de resumen, este recurso mineral es utilizable para la producción de tres materiales de uso permanente en procesos industriales fundamentales: decoloración de aceites; preparación de barros densos para perforaciones de petróleo y catalizadores de diferentes reacciones.

Las reservas conocidas no son muy importantes, pero los antecedentes y las perspectivas de uso, recomiendan aplicar estudios que mejoren el nivel general de información.

## 10-5-DOLOMITA

La dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio (CO<sub>3</sub>Ca.CO<sub>3</sub>Mg) de gran valor industrial porque constituye la materia prima para fabricación de compuestos de magnesio y para la elaboración de revestimientos de hornos siderúrgicos.

Para cualquier uso, la dolomita debe ser calcinada hasta obtener una mezcla de CaO y MgO. Estos óxidos son reactivos con la humedad pero cuando se obtienen a temperaturas del orden de 1600°C quedan inertes (dolomita muerta).

El principal destino de la dolomita uruguaya ha sido históricamente la producción de óxidos para revestimiento de hornos siderúrgicos. La única planta industrial, que funcionó entre 1975 y 1982, fue la de Mina Valencia, ubicada a unos 6 Km al Sur de la ciudad de Minas.

En Uruguay hay muchos yacimientos de dolomita de elevada pureza distribuidos en una faja de rumbo regional NNE que pasa por las ciudades de Minas y Pan de Azúcar. En la figura N° 10-37 se muestra gráficamente la distribución de los principales yacimientos de dolomita conocidos en el Uruguay.

Las dolomitas se encuentran ubicadas estratégicamente en los grupos Fuente del Puma y Carapé. Estos grupos representan series volcanosedimentarias del edad incierta probablemente Neo-proterozoica (grenvilliano 1200 m.a.) con importantes acumulaciones de carbonatos en plataformas, posteriormente sometidas a metamorfismo, plegamiento y grandes cabalgaduras.

Las estructuras resultantes son muy complejas pero localmente se desarrollan en bancos de forma geométrica sencilla. De todos los yacimientos conocidos (Zanja del Tigre, Carapé, Polanco, Penitente, Mina Valencia Calera Lavalleja) se dispone de información geológico--económica de los yacimientos de Penitente, Calera Lavalleja, Don Enrique y Mina Valencia, cada uno de ellos con propiedades diferentes tanto en pureza como en grado de metamorfismo y estructura geológica.

Desde el punto de vista industrial, el yacimiento más importante fue y continúa siendo el de Mina Valencia, especialmente por su forma geométrica tan simple, el espesor del banco y la altísima pureza de la roca extraíble.

En la Tabla N°.. se presentan valores medios de las diversas dolomitas conocidas en Uruguay para lograr exponer un panorama global sobre las posibilidades geológico--económicas de las dolomitas.

	RI %	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	CO <sub>3</sub> Mg %	CO <sub>3</sub> Mg/CO <sub>3</sub> Ca
CALERA LAVALLEJA	1,9 ± 0,4	0,8 ± 0,2	52 ± 2	45 ± 1	0,86
PENITENTE	9 ± 5	3 ± 0,7	46 ± 4	41 ± 3	0,89
CARAPE	2,5 ± 1	1,4 ± 0,4	49,5 ± 2	42,5 ± 1	0,86
MINA VALENCIA	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,2	54,5 ± 2	44,5 ± 1	0,81
SILVA (CARAPE)	1,7 ± 0,3	0,4 ± 0,1	55 ± 3	43 ± 2	0,78

A los efectos comparativos, la dolomita pura tiene la siguiente composición:

54,3 % CO<sub>3</sub> Ca  
45,6 % CO<sub>3</sub>Mg

CO <sub>3</sub> Mg / CO <sub>3</sub> Ca= 0,84
---

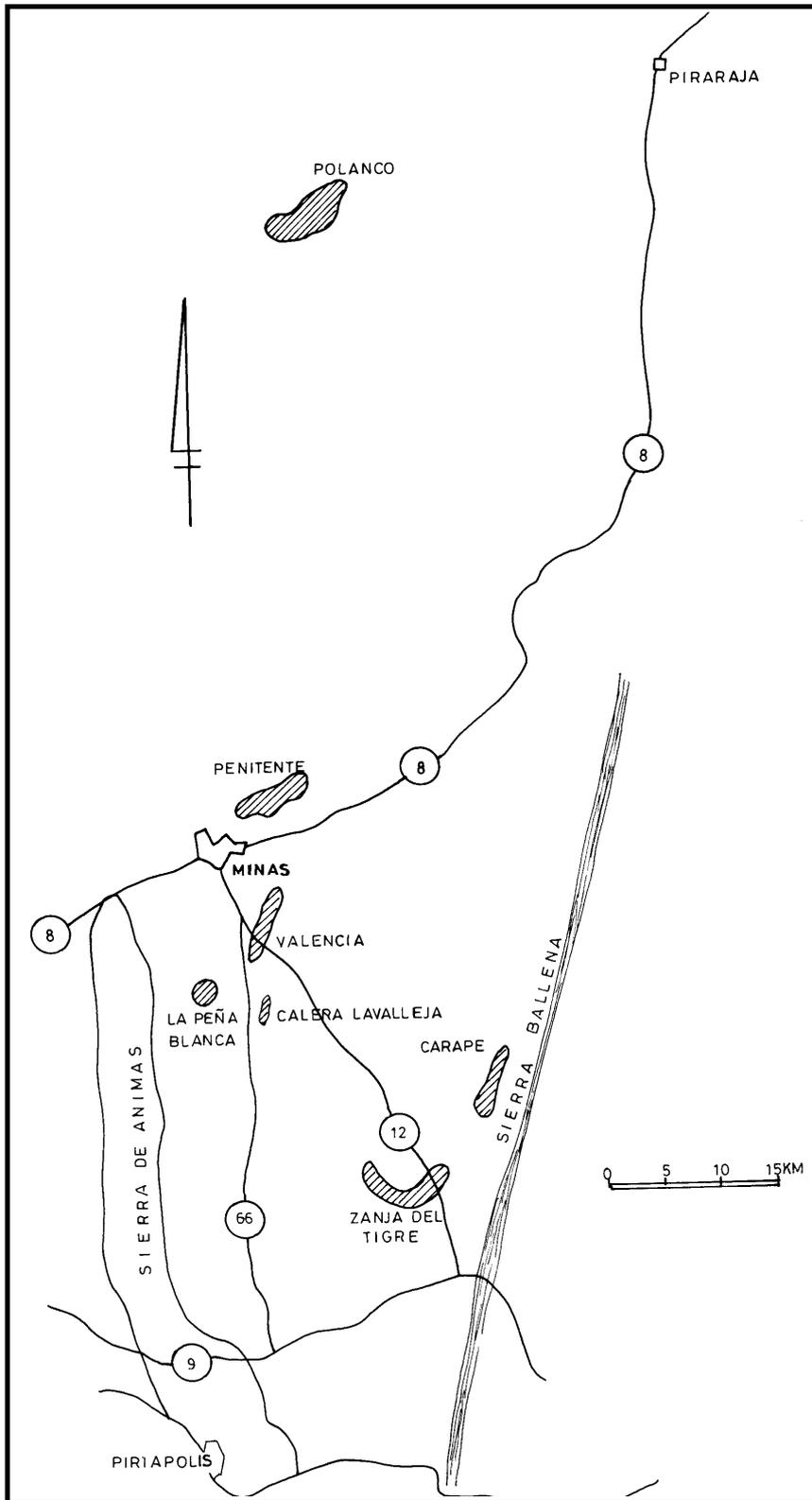


Figura N°10-37. Ubicación de yacimientos de dolomitas

Los resultados arriba expuestos son datos disponibles concretos, pero como la determinación de calcio y magnesio es técnicamente muy compleja, es posible que algunos valores no sean totalmente confiables desde el punto de vista analítico.

Se plantea esa situación especialmente para los yacimientos en los que la relación  $\text{CO}_3\text{Mg}/\text{CO}_3\text{Ca}$  es superior al valor teórico de 0,84, pues nunca se ha encontrado magnesita libre en las dolomitas uruguayas. Teniendo en cuenta esos posibles problemas, puede concluirse igualmente que Uruguay es un país con importantes reservas de dolomita de pureza industrialmente aceptable:

**$\leq 2\%$  de silicatos;  $< 1,5\%$  de  $\text{R}_2\text{O}_3$ ;  $\text{CO}_3\text{Mg}/\text{CO}_3\text{Ca} = 0,84 \pm 0,03$ ;  $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{CO}_3\text{Mg} = 95 \pm 4\%$**

Los datos de reservas y forma geométrica de cada yacimiento conocido serán expuestos a continuación, para mostrar el nivel de información disponible en un recurso mineral que puede volver a ser significativo en la industria extractiva del Uruguay.

De hecho, durante varios años ha operado una planta industrial de calcinación con un ritmo de 200 ton /día de dolomita cruda con menos de 0,3 % de impurezas, molienda a distintos tamaños, calcinación a 1000°C y sinterización a 1800°C. Se obtenía un producto con 39 % de  $\text{MgO}$  que se exportaba por montos del orden de 500.000 dólares anuales.

Las dolomitas calcinadas son refractarios básicos empleados para construcción y mantenimiento de hornos siderúrgicos. Hay tres tipos principales de productos:

- Dolomitas normales
- Dolomitas calcinadas a muerte
- Dolomitas sinterizadas

Las dolomitas calcinadas normales se obtienen con calentamiento entre 900 y 1000°C y están compuestas por una mezcla de óxidos de calcio y magnesio, que se hidratan rápidamente dando  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Las dolomitas calcinadas a muerte (en rigor, muertas por calcinación) son quemadas a más de 1700°C y están compuestas por una mezcla de óxidos cristalizados que no reaccionan con el agua.

Las dolomitas sinterizadas se calientan a temperaturas entre 1500 y 1700°C con el agregado de óxidos de hierro que reaccionan con el óxido de calcio y dan compuestos fusibles que aglomeran los granos reduciendo la porosidad.

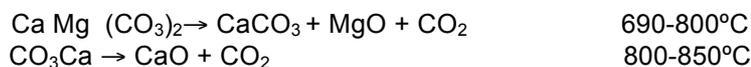
Las dolomitas calcinadas normales presentan densidad aparente entre 1,6 y 1,9 g/cc, mientras las dolomitas calcinadas a muerte llegan a valores de 3g/cc con una porosidad inferior al 10 % si se calcina a 1700°C con 1 % de óxido férrico. Estas dolomitas calcinadas a muerte logran su desactivación frente al agua porque el óxido de magnesio recristaliza en periclusa con estructura iónica ordenada.

Recientes investigaciones en la Facultad de Química de Uruguay, permitieron encontrar posibles nuevos usos para las dolomitas nacionales.

DIANO et al (1998) concluyen que la dolomita calcinada permite catalizar la transformación de madera de eucalipto en gas combustible de alto poder calorífico. Se estudiaron dos catalizadores: dolomita calcinada a 900°C y dolomita calcinada a 900°C impregnada de sales de níquel hasta una concentración de 11 % en peso de níquel.

La dolomita se descarbonata en una atmósfera rica en  $\text{CO}_2$  en dos rangos de temperatura: 600-850°C.

En presencia de atmósfera de nitrógeno libre de  $\text{CO}_2$ , la descarbonatación ocurre en una sola etapa: 800-850°C (ATD en atmósfera de  $\text{N}_2$ )

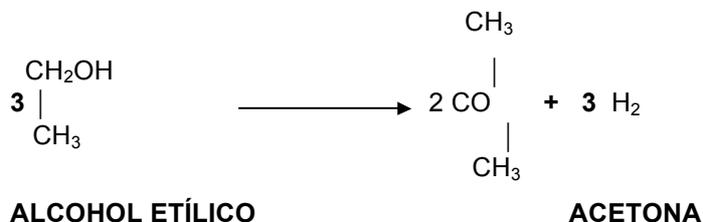


Utilizando dolomita calcinada a 900°C (CaO + MgO) se logra transformar la madera de eucalipto en una mezcla de hidrógeno, metano, monóxido de carbono, eteno, etano, anhídrido carbónico con una relación H<sub>2</sub>/CO que varía según la temperatura de tratamiento desde 0,4 a 5,3, a 800°C con una alimentación adecuadamente controlada.

Los rendimientos de gas medidos en poder calorífico por tonelada de madera son similares utilizando simplemente dolomita calcinada que impregnándola con sales de níquel.

BOSSI et al (1999) estudia el empleo de dolomita calcinada en la transformación catalítica de soluciones acuosas de alcohol etílico. La dolomita calcinada e impregnada con sales de metales de transición (hierro, cinc, níquel) cataliza la transformación del alcohol etílico en acetona en presencia de vapor de agua. Las temperaturas de reacción son alrededor de 500°C. Los catalizadores impregnados con hierro y cinc consiguen transformaciones entre el 80 y el 90 % del alcohol original. Un alto grado de descarbonatación de la dolomita favorece las reacciones de cracking de enlaces carbono-carbono, conduciendo a la formación de metano y dióxido de carbono.

La impregnación de dolomita calcinada con óxidos de metales de transición le confieren una actividad deshidrogenante. Con carbonatación parcial se logra transformar etanol en acetona:



Con una descarbonatación total, la reacción es diferente:



Según el tiempo de contacto, cambia la selectividad del catalizador en un proceso a 500°C, según se muestra en la figura N° 10-38.

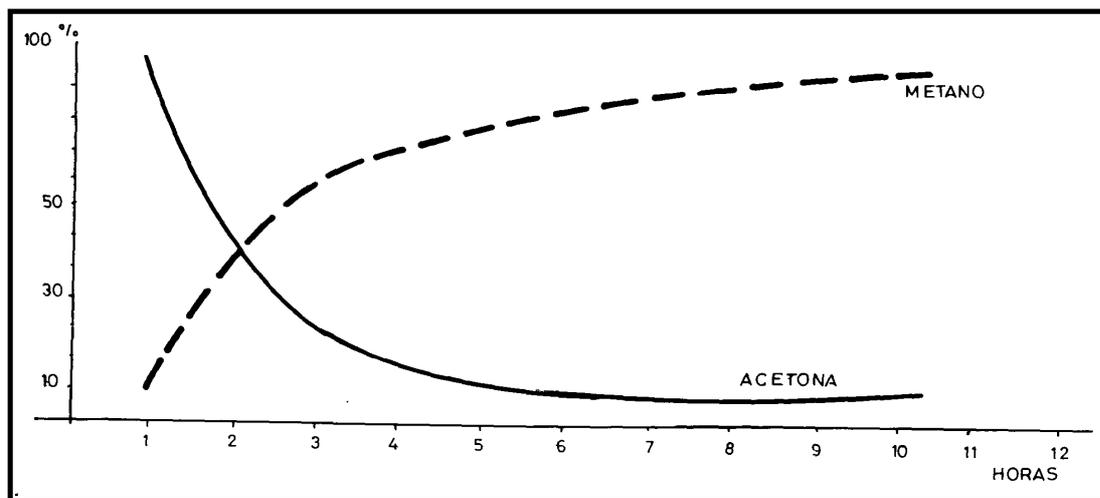


Figura N°10-38. Selectividad del catalizador para transformación del etanol.

## MINA VALENCIA

Este es el yacimiento más conocido del país por la elevada pureza de la roca y la instalación de una planta industrial que operó entre 1975 y 1982.

Se trata de un banco de dolomita de 1500 metros de longitud en el rumbo N20-30E con buzamiento vertical y potencia variable alrededor de los 100±20 metros. La carta geológica presentada en la figura N° 10-39 muestra la estructura regional del yacimiento, donde se destaca la existencia de gran cantidad de pequeñas fallas subperpendiculares al rumbo.

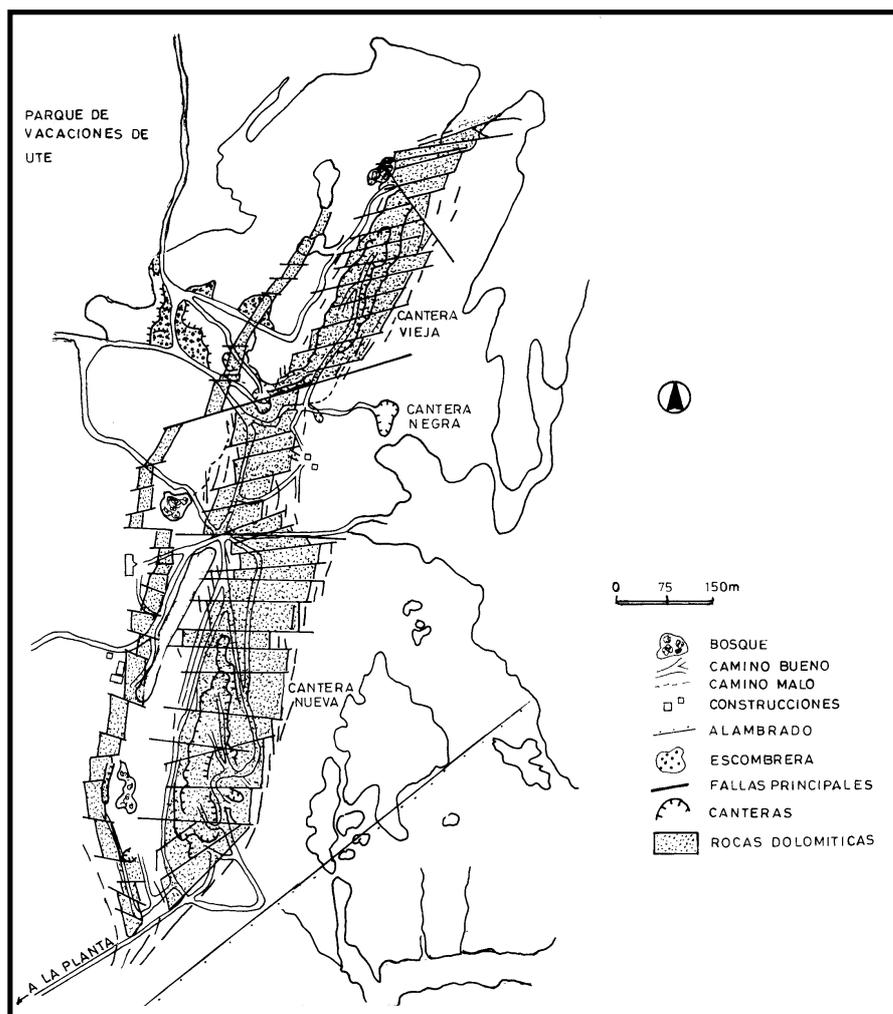


Figura N°10-39. Carta geológica de Mina Valencia

Dentro de ese banco predominantemente dolomítico, los niveles de roca dolomítica de alta pureza presentan valores de potencia de 5 a 14 metros en el Sur del área, de 10 a 18 metros en la parte Norte.

Las reservas evaluadas como probadas de dolomita con valor de 0,5 % de SiO<sub>2</sub> dieron una cifra de 200.000 toneladas para este yacimiento. Las reservas probables se estimaron en 2 millones de toneladas porque la estructura geológica es relativamente muy simple y se consideró poco probable que el comportamiento observado hasta 30 metros de profundidad en ambos extremos el yacimiento, no se mantenga en la parte central del mismo.

En la figura N° 10-40 se presenta un dibujo a partir de una fotografía de archivo de la cantera vista desde el Sur en el año 1977 en momentos de plena actividad extractiva.

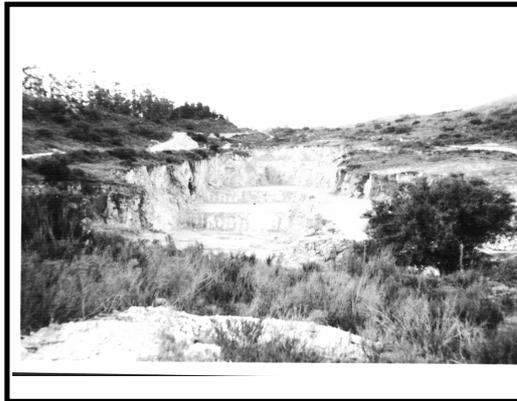


Figura N°10-40.

## YACIMIENTO PENITENTE

Este yacimiento se ubica al NE de la ciudad de Minas como se señala en la figura N° 10- 37. aunque la composición de las dolomitas de este depósito no presenten valores de excepcional pureza, se trata de un cuerpo que merece considerarse por el volumen de roca contenida, la facilidad de acceso y el antecedente de un uso industrial.

La estructura geológica es muy compleja como consecuencia de por lo menos 2 fases de plegamiento y la intrusión en el extremo oriental del macizo granítico del cerro Penitente. Esta compleja estructura deja bancos de dolomita de pureza relativamente elevada entre bancos en que las dolomitas se intercalan con filitas, cuarcitas y rocas esquistosas como se muestra en la figura N°10-41.

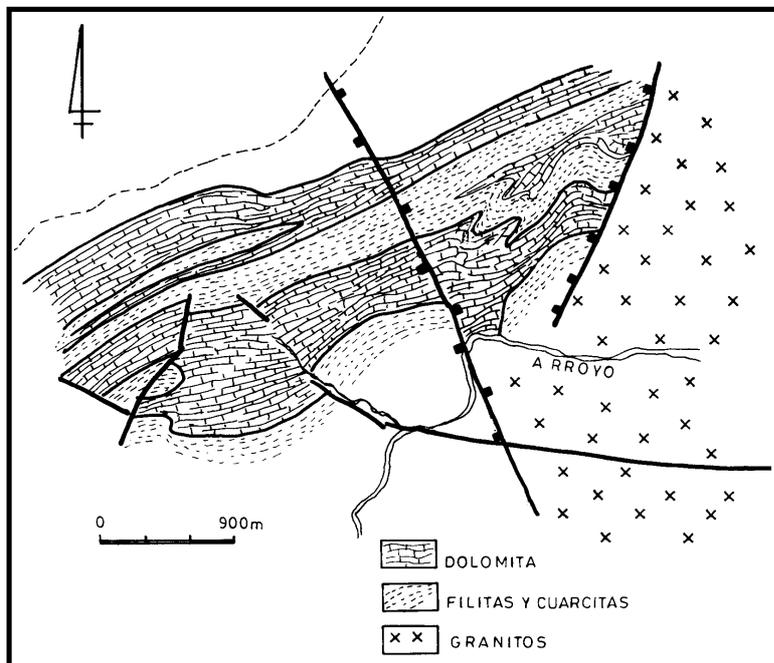


Figura N°10-41. Carta geológica del yacimiento de dolomita Penitente.

Este depósito en el cual afloran dolomitas en una superficie de 4 millones de metros cuadrados (400 hectáreas) pareció fundamental de incluir en la etapa descriptiva, porque estudios de detalle pueden obtener yacimientos de gran pureza en volúmenes de operación rentable.

## YACIMIENTO CARAPE

Las dolomitas de esta zona ocupan una extensa área explotada desde hace muchas décadas, aunque está inactiva desde 1950. La zona se ubica a unos 10-15 Km al N del Abra de Perdomo sobre la ruta N°.9 y luego la Ruta N° 12 como se muestra en la figura N°10-37.

Las rocas de esta zona presentan estructura geológica con abundancia de pliegues de plano axial con bajo buzamiento (15-60°). Son rocas blancas, gris pálidas o rosadas con algunos cristales de muscovita visible a ojo desnudo. Es posible encontrar con muy baja frecuencia, algún cristal de tremolita. En la figura N° 10-42 se muestra la estructura de uno de los yacimientos, definiendo un sinclinal asimétrico de plano axial N30E buzando 40° al SE.

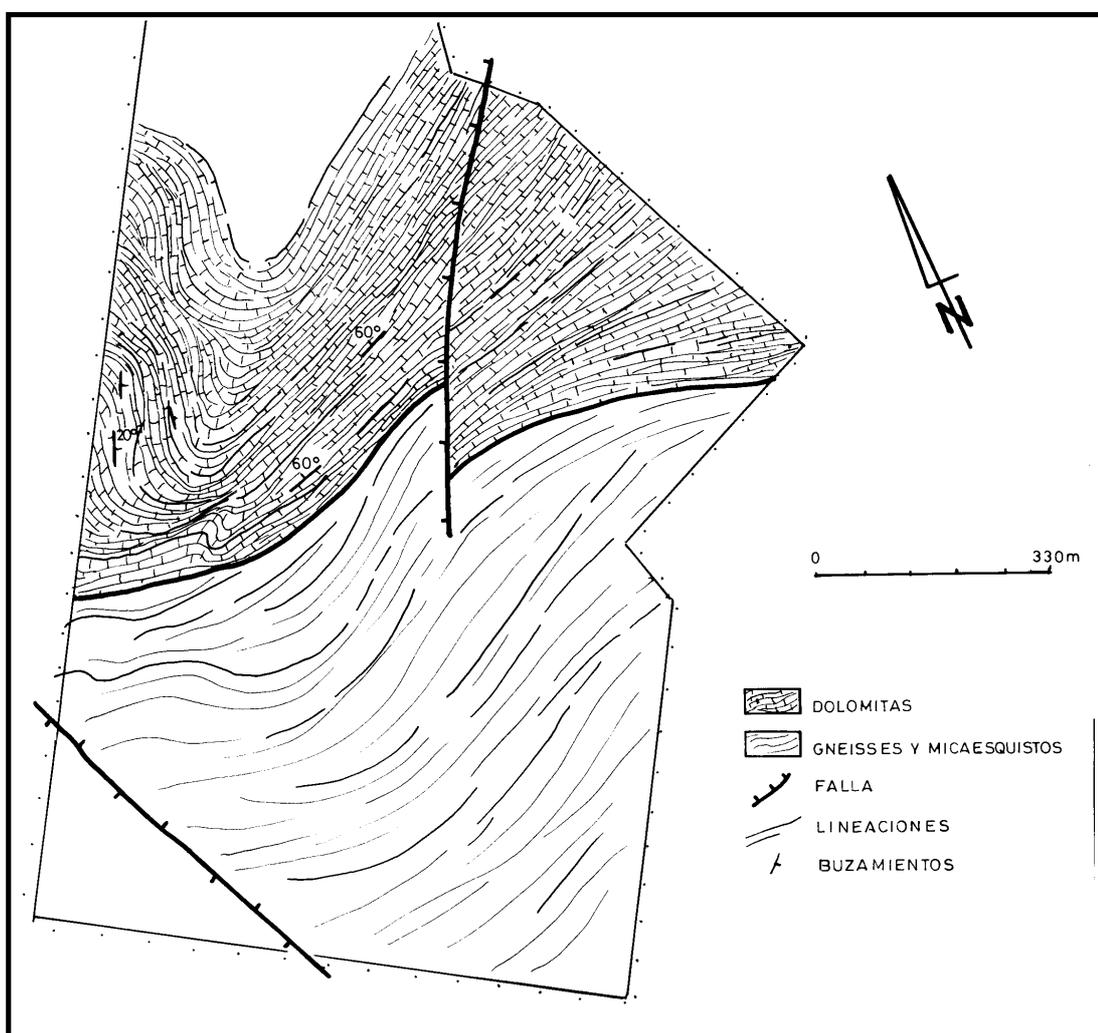


Figura N°10-42. Carta geológica de un yacimiento en Carapé.

Estas dolomitas son de grado de metamorfismo medio (muscovita) y pertenecen al Grupo Carapé- La pureza es normalmente elevada y los volúmenes de reservas probables son enormes.

No han existido sin embargo estudios geológico-económicos suficientemente detallados como para conocer el volumen de reservas probadas. Falta conocer en la zona la potencia de niveles de dolomita de alta pureza que existen, pero no fueron cartografiados.

Uniendo esta zona con la de Zanja el Tigre, las reservas de rocas dolomíticas son de volúmenes descomunales, pero la falta de trabajos geológicos sistemáticos impide recomendar la planificación de cualquier actividad-excepto estudio- de esta zona.

La cartografía geológica no diferenciando calidades industriales ha reconocido afloramientos prácticamente continuos de dolomitas en un área de 30 Km<sup>2</sup> (30 millones de metros cuadrados).

## **CALERA LAVALLEJA**

Este yacimiento, ubicado a unos 20 Kms al Sur de la ciudad de Minas es empleado por la empresa para obtener cales especiales y más recientemente para exportación en fragmentos de piedra natural.

Desde el punto de vista geológico, el yacimiento forma parte de un pliegue anticlinal de plano axial subvertical y rumbo NNE. Dicho pliegue fue luego afectado por fallas de rumbo WNW que provocan desplazamientos locales de varias decenas de metros, tanto en las dolomitas como filitas y cuarcitas asociadas a ellas.

Las dolomitas son de textura granoblástica con estructura masiva y se han desplazado por efecto de las fallas sin la formación de pliegues secundarios ni parásitos.

El pasaje de las dolomitas a las filitas es a través de dolomitas filitosas y filitas dolomíticas, lo que facilita la explotación, pues las rocas de alta pureza son exclusivamente las que no tienen ningún indicio de esquistosidad.

La roca explotada tiene granos entre 0,05 y 0,3 mm de diámetro, con color gris medio a oscuro. Ocho muestras obtenidas por cuarteo de muestras individuales de 50 trozos (20 a 25 Kg ) dieron valores promedio de residuo insoluble de menos de 2 % y una reacción  $\text{CO}_3\text{Mg} / \text{CO}_3\text{Ca} = 0,87$ .

En la zona del yacimiento en explotación las dolomitas se presentan como un banco de rumbo general N30E con buzamientos variables en 10 y 50°E provocado por giro de bloques a ambos lados de fallas de rumbo N60W.

La potencia media del banco es de 50 metros y se mantiene constante a lo largo de 250 metros en el sentido del rumbo.

De acuerdo con las observaciones geológicas realizadas, todo el banco se encuentra en el mismo nivel en que fue formado y por lo tanto el comportamiento en profundidad es idéntico para todos los bloques. En la cantera principal es directamente observable una altura de 15 metros y el desnivel total observable en el yacimiento alcanza cifras de 30 metros.

Esta información permitió concluir que las reservas probadas del yacimiento (con error inferior a 20 %) se calculan en 120.000 metros cúbicos equivalentes a 300.000 toneladas.

La estructura geológica y la naturaleza de la roca permiten estimar un volumen equivalente de reservas probables porque un banco de 50 metros de potencia es imprevisible que se reduzca abruptamente. Es cierto que en el grupo Carapé cercano al área en análisis existen abundantes cabalgaduras que pueden segar cualquier yacimiento en profundidad pero este cuerpo dolomítico se encuentra en el Grupo Fuente del Puma (BOSSI et al,1998) que hasta donde hoy se conoce no ha experimentado tectónica de ese tipo.

## CONCLUSIONES

La dolomita de alta pureza es un recurso mineral que se emplea en muchas industrias; cal, cerámica, vidrio y sobre todo como refractarios para revestimiento de hornos siderúrgicos y como materia prima para elaborar derivados del magnesio.

La dolomita aglomerada para revestimiento de hornos siderúrgicos se comercializa en Brasil a un precio FOB de U\$S 18/ton ( según boletín de Preços del DNPM N°90, 1996) y los derivados de magnesio tienen también alto valor en el mercado mundial.

Esta situación está indicando que se hace imprescindible un estudio de la totalidad de reservas y calidad química del producto porque Uruguay posee enormes volúmenes de rocas dolomíticas especialmente concentradas en el Sur del país.

Ya ha existido experiencia de producción de dolomita calcinada y aglomerada con resultado exitoso en el yacimiento de Mina Valencia.

La abundancia de dolomita en la zona de Zanja del Tigre inspiró en 1968 al Ing. Qco. H. Ibarlucea a proponer el proyecto Magsal que incluía la producción de sal común, sales de magnesio y yeso. Los insumos fundamentales eran dolomita calcinada y agua de mar evaporando con vapor a presión.

## 10-6-CARGAS MINERALES

Son minerales puros o mezclados que acompañan fórmulas de productos industriales con carácter de inerte pero con propiedades físicas adecuadas al destino del material.

Los minerales empleados como cargas pueden ser extremadamente variables. Hay ofertas de firmas que incluyen 20 minerales desde amianto hasta circón pasando por arcillas, carbonatos, sulfatos, etc.

En Uruguay la oferta de estos minerales para emplear como carga es mucho más reducida, porque una de las condiciones esenciales de la utilización es que se encuentren molidos a malla definida y constante, además de tener siempre la misma composición mineralógica. Ello exige un control riguroso del producto a utilizar y del material molido, lo que no es costumbre que suceda en las plantas industriales mineras del Uruguay.

A título de ejemplo, en 1987, en USA el 47% de las cargas minerales consumidas eran de  $\text{CaCO}_3$ , 32 % de caolín y varios minerales en pequeños porcentajes. Los minerales que pueden usarse como carga en Uruguay, son fundamentalmente: carbonatos, talco y caolín.

Los carbonatos se pueden utilizar como cargas en jabones, baldosas monolíticas e insecticidas.

El talco se usa como carga en cosmética, papel, pinturas, artículos de tocador, pigmentos (tintas para imprenta) plásticos, goma, adhesivos, productos farmacéuticos, alimenticios y agroquímicos.

El caolín se usa como carga en impermeabilizantes, papel y adhesivos.

Estos recursos minerales tienen grandes posibilidades de desarrollo en la medida de que las empresas entiendan que los productos son comercializables si se mantiene una producción constante de calidad homogénea.

Uno de los posibles incrementos en el uso y comercialización de cargas minerales se logra por mejora de tecnología en los sistemas de molienda hasta conseguir productos micronizados (20 a 30 micras equivalente a malla 600). En estas condiciones cualquier mineral de composición constante consigue mercado de venta. Esta tecnología aún no está instalada a escala de industria minera aunque sí existe en los laboratorios farmacéuticos en pequeña escala.

La carga mineral utilizada en mayor volumen en Uruguay es caliza magnesiana molida, que, mezclada con cemento portland se usa como mortero, sustituto de la mezcla para levantar paredes. Este tipo de mortero ha reemplazado el empleo de la cal en un 20 % con tendencia al alza.

El talco es también usado en muchos productos como carga mineral dependiendo de su grado de pureza y del hábito cristalino.

Los talcos más puros y con hábito laminar, casi transparentes, se usan para productos farmacéuticos (pastillas y jarabes) y cosméticos ( lápiz labial, sombras,...)

Los talcos con cierto contenido de impurezas pero blancos se usan para tocador (jabones, talco en polvo..). Talcos de pureza equivalente pero de color cuando molido, se emplean en insecticidas, agroquímicos y mezclas asfálticas.