

6  
E. Gu



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**CARACTERIZACION DE UN CAOLIN  
PROCEDENTE DEL ESTADO DE VERACRUZ Y  
SUS APLICACIONES INDUSTRIALES.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**P R E S E N T A**

**JOSE FRANCISCO CAMACHO RUIZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# INDICE

|  | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCION. . . . .                                    | 1    |
| I. GENESIS Y FORMACION. . . . .                          | 2    |
| 1.1 Geología. . . . .                                    | 3    |
| 1.2 Exploración y Evaluación. . . . .                    | 6    |
| 1.3 Extracción y Beneficio. . . . .                      | 7    |
| 1.4 Transportación. . . . .                              | 8    |
| II. CARACTERISTICAS CRISTALOGRAFICAS DEL CAOLIN. . . . . | 9    |
| 2.1 Clasificación Mineralógica. . . . .                  | 10   |
| 2.2 Principales Yacimientos de Caolín en México. . . . . | 16   |
| III. PRODUCCION NACIONAL DE 1975 a 1982. . . . .         | 19   |
| 3.1 Importaciones de Caolín de 1975 a 1982. . . . .      | 25   |
| 3.2 Consumo Nacional. . . . .                            | 27   |
| IV. DEFINICION DE TERMINOS Y GRADOS. . . . .             | 29   |
| V. ESPECIFICACIONES Y NORMAS. . . . .                    | 32   |
| 5.1 Papel. . . . .                                       | 33   |
| 5.2 Pintura y Plásticos. . . . .                         | 33   |
| 5.3 Cerámica. . . . .                                    | 33   |
| 5.4 Propiedades Físicas. . . . .                         | 35   |
| VI. USOS Y APLICACIONES DEL CAOLIN. . . . .              | 37   |
| 6.1 Industria Papelera. . . . .                          | 39   |
| 6.2 Cerámica y Refractarios. . . . .                     | 40   |
| 6.3 Pintura. . . . .                                     | 41   |
| 6.4 Otros Usos. . . . .                                  | 42   |
| VII. PARTE EXPERIMENTAL. . . . .                         | 44   |
| VIII. CONCLUSIONES. . . . .                              | 58   |
| BIBLIOGRAFIA. . . . .                                    | 61   |



PRESIDENTES 187

MEXICO 13, D. F.

## INTRODUCCION

Siendo el caolín uno de los minerales no metálicos más importantes como materia prima en las industrias del papel, cerámica, refractarios, cemento, pinturas, etc., y por otro lado, se cuenta entre los no metálicos de mayor volumen de importación, debido a lo anterior es de interés estudiar las características de este mineral y la determinación de sus posibilidades de aprovechamiento industrial.

El caolín es un mineral del grupo de las arcillas de uso industrial cuyo principal componente es la caolinita, éste posee propiedades para el aprovechamiento en la fabricación de una gran variedad de productos y en algunos procesos; entre estas propiedades se cuentan como las más importantes las de poseer un color blanco aún después de cocer o quemar, alta brillantez, refractariedad, plasticidad, etc.

Se define mineralógicamente como un silicato hidratado de aluminio y proviene de la alteración hidrotermal de rocas riolíticas, se encuentra en forma de estratos blandos, no consolidados, que cubren por completo los mantos del terreno, también se encuentra como cuerpos sólidos compactos o como capas laminadas del tipo de las pizarras.

Estos yacimientos se explotan por lo general a tajo abierto, aunque también suele usarse el sistema subterráneo de cuartos y pilares, y en donde el material no está extremadamente compacto se usa explotación en toberas hidráulicas.

El proceso de beneficio a que se somete el mineral está en función del uso a que se destina, aunque generalmente todos ellos siguen la misma secuencia, obteniéndose el material para los diferentes usos entre dos pasos sucesivos del beneficio; éste consiste en una separación hidrogravimétrica de la arcilla y sus impurezas, seguida de un molido, filtrado y secado. En muchos casos la arcilla se seca en hornos fluidizantes, o se blanquea con  $H_2SO_4$  antes de secar por aspersion, el último paso es la separación granulométrica.

**CAPITULO I**  
**GENESIS Y FORMACION**

1.1 El caolín ocurre en su forma natural mezclado con una gran variedad de impurezas minerales, un caolín promedio contiene alrededor de 85-95% de caolinita y el resto viene a consistir, de cuarzo y principalmente, y cantidades mínimas de mica blanca, biotita, esmectita, ilmenita, rutilo, leucóxeno, goetita, y trazas de zirconio, turmalina, cianita y grafito.

La mayoría de los caolines son suaves y plásticos por naturaleza - a causa de la humedad contenida en el mineral, cuando están secos son fácilmente desmenuzables, los caolines constituidos por grandes cantidades de sílice o localizados a grandes profundidades son más duros.

El caolín y arcillas relacionadas, se encuentran en diferentes tipos de depósitos, muchos de ellos se encuentran en forma de lentes tabulares y camas discontinuas en la roca sedimentaria. La mayor parte de los depósitos de este tipo son de la era cretácea o más recientes, su forma y tamaño varían mucho, por lo que es común encontrar depósitos de hasta 20 metros de grosor y más de 2 Km de extensión.

Los depósitos de caolín residual son el resultado de la erosión atmosférica de rocas ígneas cristalinas, y se encuentran muy cercanos a la superficie, excepto en algunos casos donde los residuos de la erosión fueron sepultados por rocas o sedimentos de origen más recientes.

Estos depósitos son de forma irregular y su grado de concentración decrece conforme se incluyen dentro de las rocas adjuntas, es muy común que estos depósitos también tengan límites redondeados y masas irregulares de rocas incluidas.

Hay algunos depósitos en el mundo que ocurren en rocas alteradas - en forma hidrotermal; estos depósitos comúnmente se encuentran en forma de canales irregulares o cuerpos alargados alineados a lo largo de fallas, grietas y otras zonas permeables que han dado lugar al movimiento de soluciones acuosas calientes; algunos depósitos de este tipo ocurren en forma de tobas alteradas o en camas, la mayoría de los depósitos de origen hidrotermal son de la era terciaria, este tipo de caolín se usa como arcilla refractaria.

Es conveniente aclarar que la edad de las rocas aledañas a estos depósitos no siempre es la misma que la del depósito en sí, y la edad -

de la formación del caolín se obtiene mejor a través de una estimación sobre la capa superficial presente.

Así pues, los dos tipos más importantes de depósitos de mineral de caolín son aquéllos que se formaron por procesos hidrotermales o de -- erosión atmosférica, y aunque la mayor parte de los caolines se forma-- ron de esta manera, los depósitos más valiosos son de otro tipo, ya que ocurren en rocas sedimentarias y son resultado ya sea de un arrastre y depositación del caolín o de la alteración de la roca por procesos similares a la erosión superficial, o bien de una combinación de ambos.

Mineralógicamente el caolín es una arcilla con un porcentaje de -- caolinita (silicato hidratado de aluminio)  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , con parti-- culas individuales en forma de finas láminas hexagonales que bajo condi-- ciones normales, son químicamente inertes a la acción de ácidos y álca-- lis.

Ocurre en depósitos de pegmatitas, granitos pórfidos y gneisses -- caolinizados, también en depósitos secundarios, que son el resultado de la transportación del mineral por acción de las aguas y vientos; cuando esto ocurre resultan generalmente depósitos de caolín muy puro.

Los conceptos modernos de la mineralogía de arcillas revelan que - los minerales arcillosos están divididos principalmente en tres grupos, esto es, el grupo del caolín, el grupo de la montmorillonita y el grupo de la illita, estos grupos se distinguen no sólo por su composición mi-- neralógica si no más particularmente por sus diferencias físicas in-- fluenciadas por su estructura cristalina.

Las arcillas en su estado natural pueden ser encontradas compues-- tas predominantemente por una arcilla mineral diferenciada, poco conta-- minada con cantidades variables de otras especies o puede ocurrir como mezclas de algunos grupos de arcillas minerales, por lo que un depósito de caolinita pura no ha sido aún encontrado.

Suele ocurrir frecuentemente que la caolinita en forma natural es contaminada con pequeñas cantidades de montmorillonita que es un mine-- ral arcilloso de extrema finura y que tiende a hacerse un gel en presen-- cia de agua, si estos contaminantes están presentes en suficiente canti-- dad ejercen un efecto adverso en las propiedades de flujo de los siste-- mas de cubierta de papel, ocasionando que el depósito de mineral sea -

impropio para la producción de arcillas para cubierta de papel.

Aunque el mineral caolinita  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  es el principal constituyente de las arcillas del caolín industrial, hay generalmente presentes otros elementos diferentes al aluminio, hidrógeno y oxígeno. La mayoría de las arcillas contienen minerales de silicato de aluminio hidratados diferentes a la caolinita, junto con cantidades más o menos variables de cuarzo, feldespato, micas, etc., finamente divididas, la composición química de las arcillas es usualmente expresada en términos de óxidos de varios elementos, aunque pueden estar presentes en formas más complicadas y desconocidas.

El caolín en la naturaleza se encuentra acompañado de sílice, alúmina, óxido férrico y óxido de calcio; como principales constituyentes, y en menor cantidad óxido de magnesio, óxido de potasio, óxido de sodio, óxido de manganeso y óxido de cobre.<sup>1, 2, 9</sup>

## EXPLORACION Y EVALUACION

1.2 La exploración se hace sobre estimaciones preliminares llevadas a cabo previamente sobre el área en cuestión como lo son mapas geológicos y topográficos con el fin de predeterminar si es favorable seguir adelante con los demás procedimientos. Estos consisten en barrenar el suelo hasta 60 m de profundidad repetidamente, siguiendo un patrón adecuado; las muestras obtenidas son núcleos cilíndricos, y su extracción es difícil, debiendo ser llevada a cabo por personal técnico experimentado ya que algunos depósitos contienen estratos de arena, en el caso del caolín, no han resultado aplicables los métodos de exploración geofísicos y geoquímicos.

Analizando los núcleos extraídos es posible obtener gran cantidad de información útil: apreciar el grosor de la capa de tierra de escombros que cubre el yacimiento, la calidad del caolín se puede determinar en un laboratorio, de acuerdo con ciertos procedimientos y ensayos diseñados con este fin.

Primeramente, los corazones se cortan en secciones de 50 cm, que se secan y pulverizan para ser sometidos a ensayos que revelan la calidad del caolín en cuestión, tomando como grado patrón el caolín requerido para la elaboración del papel; por tanto, los ensayos que se llevan a cabo son:

Determinación del porcentaje de arena presente, distribución de tamaño de partículas, viscosidad, brillantez y lixiviabilidad.

Concluidos éstos ensayos, es posible evaluar los resultados globales y determinar la posibilidad de explotación del yacimiento, analizando como fuente de materia prima para la obtención de un grado de caolín para cierto uso en especial.<sup>1,2</sup>

## EXTRACCION Y BENEFICIO

1.3 El método que se emplea en la explotación de un yacimiento de caolín depende por completo de la ubicación del depósito; de hecho se prefiere la técnica de tajo abierto, salvo algunos casos donde la capa de escombros es muy gruesa y presentaría algunos problemas para ser arrancada.

La preparación del depósito se planea con mucho cuidado, ya que en todas las etapas de los procesos de refinación los crudos deben seleccionarse en base al contenido de impurezas, por lo que es muy importante que la carga de alimentación sea uniforme.

Por esta razón el descapote se realiza con dragas o tractores; dejando expuesta la parte superior del depósito del caolín, aquí se lleva a cabo una exploración adicional para obtener información más detallada sobre la variación de la calidad del caolín dentro del depósito mismo, con el fin de establecer un programa de extracción que permita satisfacer los requerimientos establecidos por la planta beneficiadora.

Acto seguido, se extrae el caolín con palas mecánicas, dragas o tractores, para mandarlo a la planta beneficiadora en camiones o bien mezclándolo con agua con ayuda de un dispersor químico para formar una pasta que se bombea por un ducto hasta la planta, previamente el mineral pasa por una cámara de sedimentación o un tamiz para así separar todas las partículas de arena de tamaño superior a  $44 \mu$ . La pasta obtenida es bombeada a la planta beneficiadora.

En la planta se recibe y almacena la pasta en tanques especiales, donde son mezclados caolines de varias calidades, con el fin de obtener una mezcla promedio que permita satisfacer la mayor parte de las especificaciones de los consumidores, esta mezcla es separada posteriormente en fracciones finas y gruesas empleando hidroseparadores centrífugos, de donde las fracciones finas se someten a un proceso de lixiviación para remover compuestos ferruginosos, que se eliminan como sulfatos solubles; la pulpa obtenida pasa a un filtro rotatorio o una centrifugadora a alta velocidad y la costra resultante se somete a un proceso de extrusión para convertir la pasta seca en nódulos, este producto pasa por un secado final, de donde se obtiene la arcilla en terrones, que pueden pulverizarse si es necesario para que las partículas sean muy finas.

Esta es una descripción del procesamiento húmedo del caolín, cuyo fin es el de obtener grados de mayor uniformidad, este grado es el más solicitado, principalmente por la industria del papel.

Existen además procesos para el beneficio del caolín que están diseñados con el fin de obtener el máximo rendimiento posible de las propiedades del mineral, como lo es la brillantez, dureza, etc. Estos procesos son el de flotación en seco, calcinación y separación magnética.

## TRANSPORTACION

1.4 Los productos de caolín se embarcan en las plantas beneficiadoras en forma de pasta; con un 70% de sólidos, en bolsas especiales de papel, el caolín se transporta en forma pulverizada, en terrones, en nódulos, en pellets o en hojuelas, el peso por metro cúbico varía mucho, dependiendo de la forma de presentación.

El caolín se embarca a granel, en vagones, carros tolva, o como en pasta en carros o camiones tanque, también se embarca en costales de 25 Kg, este método se emplea con más frecuencia debido a que siendo el consumidor más importante la industria del papel, es inútil secar el producto antes de embarcarlo si se va a volver a mojar con agua para los procesos de fabricación de papel.<sup>2,4</sup>

CAPITULO II  
CARACTERISTICAS CRISTALOGRAFICAS DEL CAOLIN

## Clasificación Mineralógica

2.1 La mayoría de las veces, los minerales arcillosos pertenecen a la clase de los filosilicatos (Tabla No. 1). Ahora bien, se han encontrado arcillas cuya estructura parece estar más relacionada con los inosilicatos, situación en la que se encuentran la paligorsquita o atapulgita y posiblemente la sepiolita (Tabla No. 1).

En la estructura atómica de la mayoría de los minerales arcillosos, intervienen dos unidades: una que está constituida por dos capas de oxígeno o de hidroxilo, en la cual los átomos de aluminio, fierro o magnesio están incluidos dentro de la coordinación octaédrica, de tal modo que equidistan de 6 átomos de oxígeno o de 6 radicales hidroxilos (Fig. 2). La segunda unidad, es la que se mencionó al describir la estructura de los silicatos, o sea el tetraedro  $\text{SiO}_4$  (Fig. 1).

Los minerales arcillosos se dividen en: amorfos a la difracción de los rayos X, conociéndoseles con el nombre de alófanos. Bajo la división cristalina se incluyen a todos los demás minerales arcillosos, los cuales se diferencian entre sí ya sea que estén constituidos por dos capas, una de tetraedros  $\text{SiO}_4$  y una octaédrica de alúmina (Tabla No. 1), o bien que estén formados por tres capas, dos laterales octaédricas  $\text{SiO}_4$  y una central di o trioctaédrica de alúmina (Tabla No. 1).

Muchas arcillas están formadas por más de un mineral arcilloso y éstos pueden mezclarse entre sí en diferentes formas. La mezcla puede ser de partículas de minerales arcillosos en la cual no hay orientación geométrica seleccionada de una partícula con respecto a las vecinas.

Los minerales arcillosos se han agrupado de acuerdo a la similitud de su composición química de la siguiente forma: grupo del caolín, de la montmorillonita, de la hidromica y de la paligorsquita. Los minerales pertenecientes a cada grupo, se ilustran en la Tabla No. 2.

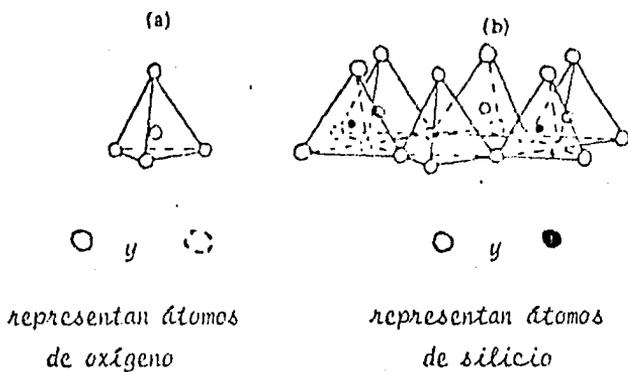


Fig. 1.- Esquema que representa (a) tetraedro de silice aislado y (b) la estructura laminar de los mismos arreglados en una red hexagonal.

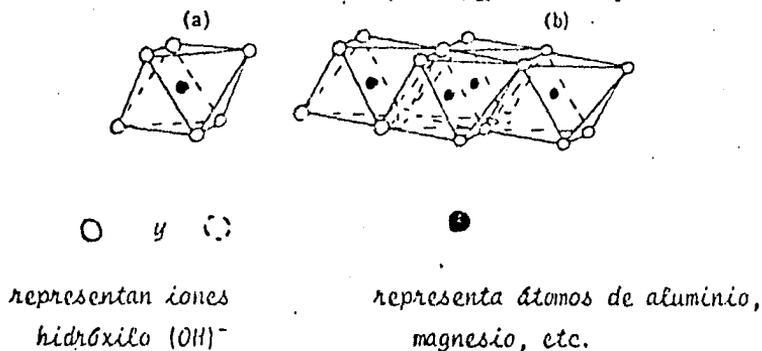


Fig. 2.- Esquema que representa (a) unidad octaédrica aislada y (b) la estructura laminar de las mismas.

TABLA No. 1.- CLASIFICACION DE LOS MINERALES ARCILLOSOS  
(Grim, 1953)

I.- AMORFOS.

Grupo del alófono.

II.- CRISTALINOS.

A. Tipo 2 capas. (estructura formada por dos capas, una de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  y una octaédrica de alúmina).

1.- Equidimensionales. Grupo de la caolinita (caolinita, nacrita, etc.)

2.- Alargados. Grupo de la haloisita.

B. Tipo 3 capas. (estructura formada por tres capas, dos laterales de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  y una central de alúmina).

1.- Expandibles.

a. Equidimensionales. Grupo de la montmorillonita (montmorillonita, etc.), vermiculita.

ii b. Alargados. Grupo de la montmorillonita (nontronita, saponita, hectorita).

2.- No expandibles. Grupo de la illita.

C. Tipo capas mixtas. (apilamiento ordenado de capas alternantes de diferentes tipos) Grupo de la clorita.

D. Tipo estructura en cadena. (cadena tipo hornblenda de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  unidos por grupos octaédricos de oxígenos e hidroxilos, conteniendo algunos átomos de aluminio y magnesio), atapulgita, sepiolita, paligorsquita.

TABLA No. 2.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS MINERALES ARCILLOSOS (Formada con datos de Grim 1953, Kerr 1959, Deer et al 1971)

| GRUPO<br>DEL CAOLIN<br>(CANDITAS)        | COMPOSICION<br>QUIMICA                                       | SISTEMA<br>CRISTALINO | DISTANCIA<br>BASAL                                  | CATIONES<br>INTERCAMBIABLES | PARAGENESIS   |
|--|--|-----------------------|---|-----------------------------|---|
| Caolinita<br>(Anauxita)                  | $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$                           | Triclínico            | 7.1   | Na, K                       | Alteración<br>hidrotermal de<br>feldespatos   |
| Diquita                                  | $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$                           | Monoclínico           |   |                             |   |
| Nacrita                                  | $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$                           | "                     | 7.1   | Ninguno                     | Alteración de rocas<br>ácidas, feldespatos,<br>etc. en un medio áci-<br>do.   |
| Haloisita                                | $Al_2O_3 \cdot \underline{+}2SiO_2 \cdot \underline{+}2H_2O$ | Agregado              |   |                             |   |
| Hidrohaloisita<br>(Endelita)             | $Al_2O_3 \cdot \underline{+}2SiO_2 \cdot \underline{+}4H_2O$ | "                     |   |                             |   |
| Alófano                                  | $Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot nH_2O$                           | Amorfo                |   |                             |   |
| DE LA<br>MONTMORILLONITA<br>(ESMECTITAS) |  |                       |   |                             |   |
| Montmorillonita<br>(Beidellita)          | $(Mg, Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$           | Monoclínico           | Variable, ge-<br>neralmente -<br>15 Å para el<br>Ca | Ca, Na                      | Alteración de rocas<br>básicas, material -<br>volcánico, en condi-<br>ciones alcalinas. -<br>Disponibilidad de Mg<br>y Ca, deficiencia de<br>K. |
| Nontronita                               | $Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$                           | "                     |   |                             |   |
| Saponita                                 | $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$                              | "                     |   | Mg                          |   |
| Hectorita                                | $16MgO \cdot Li_2O \cdot 24SiO_2 \cdot 6(F, OH) (Na_2O)$     | "                     |   |                             |   |

|                |                                   |             |                                      |  |    |   |
|----------------|-----------------------------------|-------------|--------------------------------------|--|----|---|
| DE LA          |                                   |             |                                      |  |    |   |
| HIDROMUSCOVITA |                                   |             |                                      |  |    |   |
| Hidromuscovita |                                   |             |                                      |  |    |   |
| (Illita)       | $K, Al_2(OH)_2 AlSi_3(O,OH)_{10}$ | Monoclinico | $10 \text{ \AA}$                     |  | K  | Alteración de micas, feldespatos, etc. en un medio alcalino. - Concentración de Al y K favorable.   |
| DE LA          |                                   |             |                                      |  |    |   |
| FALIGORSQUITA  |                                   |             |                                      |  |    |   |
| Faligorsquita  | $2MgO \ 3SiO_2 \ 4H_2O$           | Monoclinico | Variable, $14.4 \text{ \AA}$         |  |    |   |
| (Atapulgita)   | $Al_2O_3 \ 5SiO_2 \ 6H_2O$        | "           | cuando está completamente hidratada. |  |    | Principales componentes de los suelos de áridos. Ampliamente distribuidos en los depósitos de tierra fuller de Georgia y Florida (E.U.A.) |
| Sepiolita      | $2MgO \ 3SiO_2 \ nH_2O$           | "           |                                      |  | Mg |   |

Esencialmente, el caolín es una forma pura de una arcilla hidratada de aluminio y silicio, y se distingue de otras muchas arcillas principalmente por su suavidad, blancura y facilidad de dispersión en agua y otros líquidos.

El caolín abarca todo un grupo de minerales: caolinita, nacrita, dickita y haloisita, a excepción de la forma hidratada de haloisita que contiene mayor cantidad de agua, todos estos minerales tienen la misma composición química y el contenido de compuestos de hierro debe ser del 1%.

Las estructuras cristalinas de estos minerales son muy similares, con algunas diferencias mínimas en el arreglo de los iones en las posiciones octaédricas, apilamiento de capas, hábito cristalino, etc., lo cual es suficiente para usar términos diferentes para identificarlos.

La caolinita es el más común de este grupo, seguida de la haloisita, que ocurre en depósitos haloisíticos, los otros dos miembros del grupo rara vez ocurren en depósitos cuya explotación sea rentable y la diferencia de las propiedades ópticas en comparación a la caolinita y haloisita es muy marcada.

La estructura de la caolinita consiste de una lámina octaédrica de alúmina y una lámina tetraédrica de sílice, estas láminas forman cristales triclinicos, la fórmula estructural teórica es  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  y su fórmula química teórica es  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  el caolín puro debe tener 46%  $SiO_2$ , 40%  $Al_2O_3$  y 14% de  $H_2O$ , pero sólo los grados comerciales se acercan a esta composición.

El punto de fusión del caolín es  $1785^\circ C$  que disminuye al aumentar la cantidad de impurezas presentes. Todas las variedades de caolín tienen un color blanco, aunque algunos grados inferiores son de color amarillo o café claro, después de pasar por un cocimiento, el caolín tiene una gravedad específica de 2.6 y un lustre opaco en su forma natural; después de calcinarse, la gravedad específica aumenta hasta 2.8, con una dureza de 7.5 en escala de Mohos y una resistencia a la compresión de 60 000 a 90 000 psi.<sup>3,4,10</sup>

## PRINCIPALES YACIMIENTOS DE CAOLÍN EN MÉXICO

2.2 Los yacimientos de caolín en la República Mexicana son los denominados geológicamente como yacimientos primarios y residuales, originados por la alteración hidrotermal de rocas riolíticas terciarias, tales como el feldespató.

Por lo general estos depósitos se presentan en forma de mantos, -- cuando los fenómenos de alteración se han llevado a cabo por completo; en otras ocasiones aparecen formas irregulares según los lugares y el grado de descomposición de las riolitas, de lo cual depende también la calidad del mineral que se explota.

El país cuenta con yacimientos de caolín en 18 entidades federativas; el mineral tiene diferentes características fisicoquímicas, por lo que se utiliza en una gran variedad de industrias. Los yacimientos de mayor importancia comercial son:<sup>11</sup>

### ENTIDAD FEDERATIVA

### ZONAS

Campeche

Champotón

Coahuila

Sierra de Saltillo

Chiapas

La Razón-Cintalapa

Chihuahua

Jiménez

Guerrero

Chihuahua

Ojinaga

Durango

Peñón Blanco

Yervanis

El Rodeo

Cuencame

Guanajuato

J. Rosas

La Luz

Celaya

San Felipe

Acámbaro

León

Salamanca

Salvatierra

Dolores Hidalgo

Guerrero

Hidalgo

Jalisco

Michoacán

Morelos

Nuevo León

Oaxaca

Puebla

Querétaro

Sn. Luis Potosí

Coahuila

Tonalapa

Pathé

Tula de Allende

Zimapan

San Agustín Tlaxiaca

Zinhuilucan

Pachuca

Huichapan Saliterra

Agua Blanca

Apulco

Zacualco

Magdalena

Zapopan

Lagos

Comanja

Queréndaro

Cuatla

Región de Monterrey

Sn. Martín Zacatepec

Marisaca de Iturbide

Región de Oaxaca

Sta. Ma. Chimalpa

Sn. Mateo Mixtepec

Magdalena Peñasco

Zapotitlán

Ixtacamaxtitlán

Acatlán

Petlalcingo

Libres

Chignahuapan

Tequisquiapan

Río Blanco

Cadereyta

Ahualulco

Veraacruz  
Zacatecas

La Bahla  
Villa Garcia  
Guadalupe  
Sombrete

CAPITULO III  
PRODUCCION NACIONAL DE 1975 a 1982

La explotación de caolín se efectúa en varios estados de la república, dentro de los cuales destacan:

Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, México, Durango, Chihuahua, Sn. Luis Potosí, Guerrero, Veracruz y Jalisco.

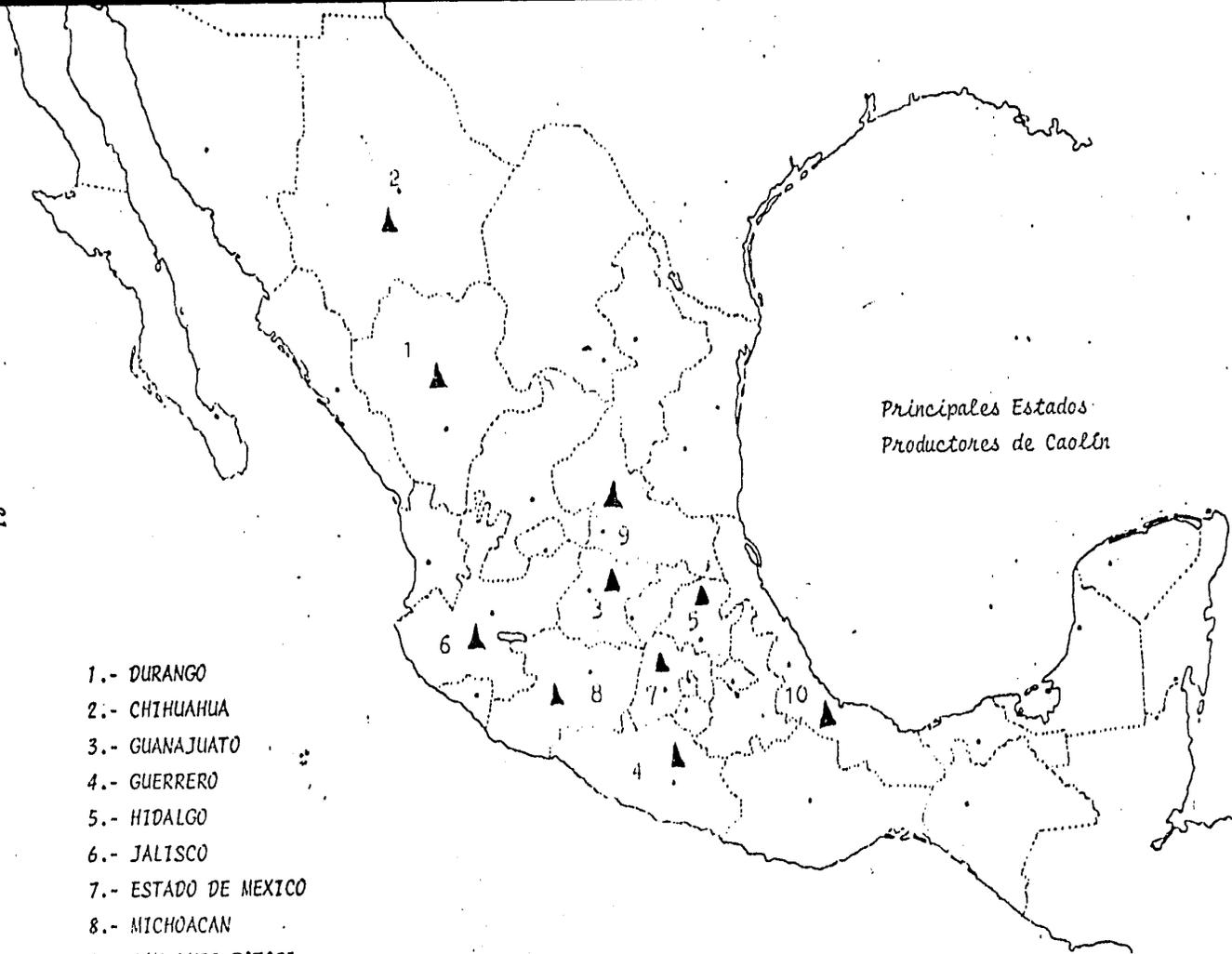
La producción nacional de caolín, en los últimos ocho años ha sido la siguiente:

CUADRO No. 1

| ANO  | VOLUMEN<br>MILES TON. |
|------|-----------------------|
| 1975 | 120.4                 |
| 1976 | 71.4                  |
| 1977 | 178.2                 |
| 1978 | 179.5                 |
| 1979 | 76.9                  |
| 1980 | 271.1                 |
| 1981 | 207.8                 |
| 1982 | 172.4                 |

Con la información proporcionada por Consejo de Recursos Minerales se elaboró la siguiente gráfica No. 1

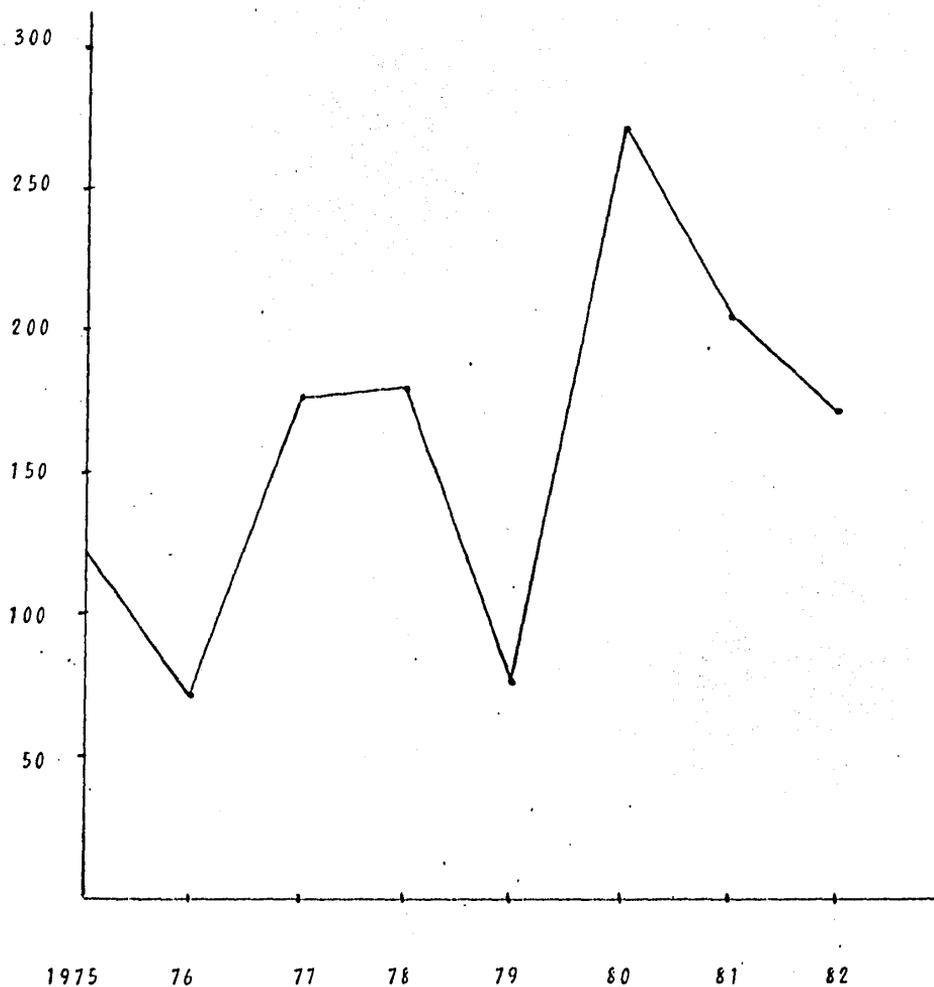
Observando la gráfica No. 1 se ve que hay un ligero descenso a partir de 1981 a 1983 debido a la crisis económica que ha sufrido el país.



- 1.- DURANGO
- 2.- CHIHUAHUA
- 3.- GUANAJUATO
- 4.- GUERRERO
- 5.- HIDALGO
- 6.- JALISCO
- 7.- ESTADO DE MEXICO
- 8.- MICHOACAN
- 9.- SAN LUIS POTOSI
- 10.- VERACRUZ

# PRODUCCION NACIONAL

Miles de  
Toneladas



Grafica No. 1

En base a las cifras de producción del período 1975-1982 se calcularon los volúmenes probables en miles de toneladas considerando un crecimiento de 5.2% por año.

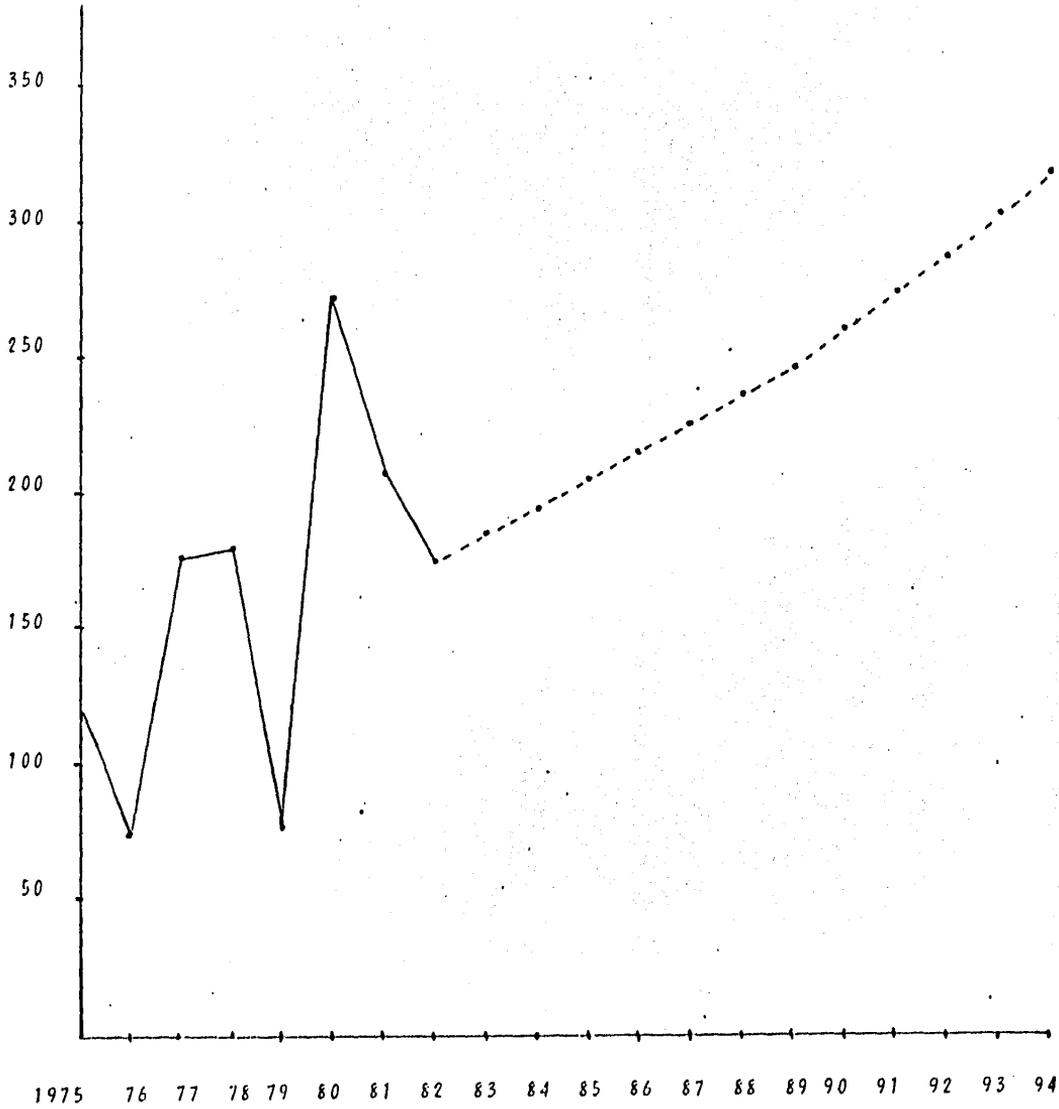
CUADRO No. 2

| ANO  | VOLUMEN<br>MILES TON. |
|------|-----------------------|
| 1983 | 181.6                 |
| 1984 | 191.1                 |
| 1985 | 201.2                 |
| 1986 | 211.8                 |
| 1987 | 223.0                 |
| 1988 | 234.7                 |
| 1989 | 247.1                 |
| 1990 | 260.1                 |
| 1991 | 273.8                 |
| 1992 | 288.3                 |
| 1993 | 303.5                 |
| 1994 | 319.5                 |

Con datos proporcionados por Consejo de Recursos Minerales y debido a necesidades futuras del país se elaboró la siguiente gráfica No. 2

# TENDENCIA DE LA PRODUCCION NACIONAL

Miles de  
Toneladas



Grafica No. 2

IMPORTACIONES DE CAOLIN DE

1975 a 1982

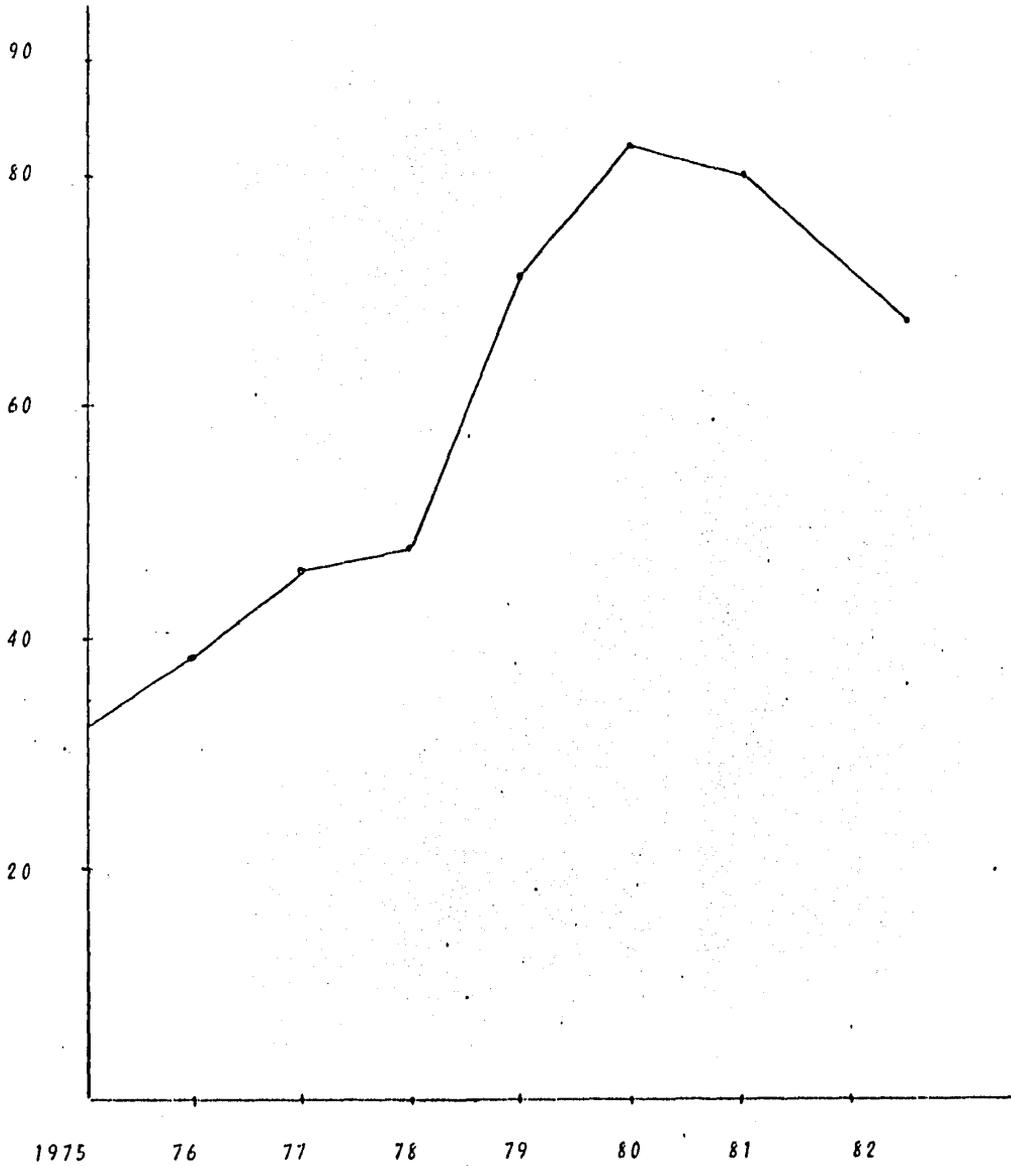
3.1 Las importaciones de caolín han originado hasta 1982 una salida bastante importante de divisas, con datos publicados por el Consejo de Recursos Minerales se ha elaborado la siguiente gráfica No. 3, la cual representa la forma ascendente de las compras al exterior hasta 1980 - en cuanto a volumen, el cual decayó durante 1981 y 1982 lo cual se debe a que los productos elaborados pueden ser de tercera necesidad.

CUADRO No. 3

| ANO  | VOLUMEN<br>MILES TON. |
|------|-----------------------|
| 1975 | 32.6                  |
| 1976 | 39.6                  |
| 1977 | 45.5                  |
| 1978 | 46.1                  |
| 1979 | 71.4                  |
| 1980 | 82.6                  |
| 1981 | 80.8                  |
| 1982 | 67.2                  |

IMPORTACIONES DE CAOLIN

Miles de  
Toneladas



Grafica No. 3

## CONSUMO NACIONAL

3.2 El consumo nacional de caolín está distribuido en las industrias: - cerámica, pintura; refractarios, cementos y otros, reportándose en miles de toneladas

| AÑO  | VOLUMEN<br>MILES TON. |
|------|-----------------------|
| 1975 | 152.9                 |
| 1976 | 110.9                 |
| 1977 | 223.7                 |
| 1978 | 235.6                 |
| 1979 | 148.4                 |
| 1980 | 352.1                 |
| 1981 | 287.3                 |
| 1982 | 239.7                 |

Los datos antes mencionados se representan en la Gráfica No. 4

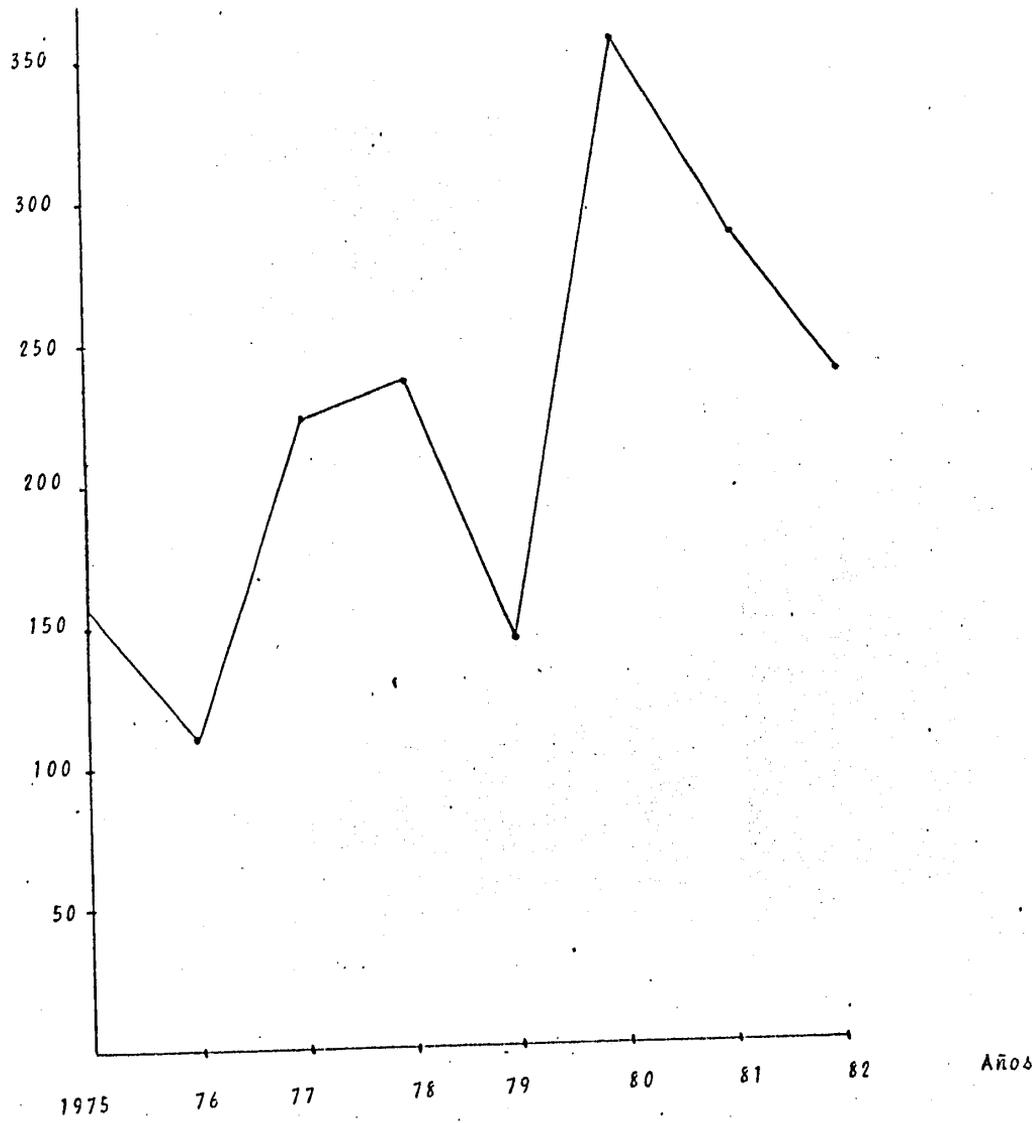
| CONSUMO TOTAL DE CAOLIN POR SECTORES INDUSTRIALES | %           |
|---|-------------|
| Industria de Refractarios                         | 29.81       |
| " Cementera                                       | 21.74       |
| " Papelera  | 15.82       |
| " Cerámica  | 14.51       |
| " Farmacéutica                                    | 3.52        |
| " Hulera  | 2.03        |
| " Pinturas  | 1.68        |
| Otros   | <u>0.89</u> |
|   | 100.00      |

Los sectores de refractarios, cemento, papel y cerámica consumen el 81.88% del total de caolín, correspondiéndoles a los otros sectores el 18.12% del consumo total restante.

Concluyendo, tenemos que los principales sectores consumidores de caolín por orden de importancia son: refractarios; cemento, papel y cerámica.<sup>11</sup>

CONSUMO NACIONAL DE CAOLIN

Miles de  
Toneladas



Grafica No. 4

CAPITULO IV  
DEFINICION DE TERMINOS Y GRADOS

El caolín, también llamado china clay o arcilla de china es una forma pura de silicato hidratado de aluminio; la fórmula química generalmente usada es  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

El término caolín se emplea en la actualidad de varias maneras, ya sea para identificar un grupo de minerales arcillosos, como un insumo mineral industrial y como sinónimo del término arcilla china.

La definición mineralógica más aceptada es la siguiente:

" Por caolín se entiende toda masa rocosa que se compone esencialmente de un material arcilloso con un bajo contenido de hierro y de color blanco o claro; las arcillas que constituyen el caolín son silicatos hidratados de Aluminio".

La caolinita es el mineral que caracteriza a la mayor parte de los caolines, pero tanto éste como todos los otros minerales caolinticos -- pueden ocurrir en mayor o menor cantidad en arcillas y otras rocas que son demasiado heterogéneas para poder ser llamadas caolines".

Al aplicar el término para identificar la arcilla, desde el punto de vista comercial, la definición anterior debe ser modificada para incluir alguna indicación sobre el uso, y además tomar en cuenta el hecho de que la mayoría del caolín que existe en el mercado pasa por un proceso de beneficio que persigue el fin de incrementar la pureza y la blancura.

En general se considera el caolín como una arcilla que consiste sustancialmente de caolinita pura o minerales arcillosos semejantes, que -- por naturaleza son blancos y que son apropiados para la fabricación de loza, papel, hule, pinturas y usos similares. De esta manera, el término se aplica sin ninguna relación directa con la pureza de los depósitos. Muchos depósitos de caolín son esencialmente puros, y requieren de una concentración mínima antes de ser preparados para el mercado; la mayoría son incoloros y necesitan pasar por un blanqueado, y algunos contienen -- hasta un 10% de arcilla, que debe ser lavada para poder concentrar y obtener un caolín comercial.

Existen además otros tipos de arcillas caolinticas, que se identifican con términos particulares, éste es el caso de la llamada "arcilla en bola" (ball clay). Este producto se caracteriza por la presencia de -- materias orgánicas en su constitución, además de poseer alta plasticidad alta resistencia en seco, amplio rango de vitrificación y color claro, --

se compone de caolinita hasta en un 70%, por lo que se puede considerar como una variedad del caolín, aunque en el mercado internacional y en la industria de la cerámica se le considera como un producto totalmente independiente.

Hay un producto mineral cuya composición es semejante a la del caolín, que se identifica con el nombre de haloisita, que puede ocurrir en dos formas: una de ellas es la hidratada, cuya composición es - - - - -  $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O} \cdot (\text{OH})_8$  y la deshidratada  $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10} \cdot (\text{OH})_8$

La diferencia entre ambas formas ha dado lugar a algunos problemas, y por ello se ha preferido llamar haloisita a la forma hidratada y meta-haloisita a la deshidratada.

En la práctica, es más común el empleo de la forma hidratada; la haloisita es solamente una variedad del caolín.

Otro tipo de arcilla que abarca algunas variedades de caolinita es la arcilla refractaria, que tiene la propiedad de soportar altas temperaturas; la calidad y propiedades de esta arcilla son expresadas en términos de equivalencias en conos pirométricos, que es una manera de determinar el rango de ablandamiento del material, considerándose como arcillas refractarias todas aquellas cuyo cono pirométrico es superior a 19 (punto de ablandamiento superior a 1520 °C), por esto, el término excluye a la mayor parte de las variedades de caolín, que se ablandan y queman sin poder alcanzar temperaturas muy altas.<sup>1,2,4,5.</sup>

CAPITULO V  
ESPECIFICACIONES Y NORMAS

En la actualidad existe un sinnúmero de especificaciones para los productos de caolín que son establecidos por los consumidores, la razón de esta situación es que el caolín tiene muchos usos y que hay bastantes artículos que contienen a este material dentro de su composición y, en adición, el grado de caolín requerido para cada uno de estos productos es diferente en todos los casos, y estas especificaciones cambian continuamente.

Solamente en unos casos han sido normalizadas las especificaciones para el caolín y esto ocurre en aquellas industrias donde se consumen mayores cantidades de mineral, éste es el caso de la industria del papel, pintura y cerámica.

#### PAPEL

5.1 Las especificaciones que se han establecido para los grados de caolín que esta industria requiere, están en términos de las propiedades físicas del mineral tales como brillantez, viscosidad, tamaño y distribución de las partículas en malla +325 y residuo en -325; y en algunos casos, abrasividad, las normalizaciones para evaluar estas propiedades han sido fijadas por la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel. (Ver Cuadro).

#### PINTURA Y PLASTICOS

5.2 El caolín que se usa como relleno en la fabricación de pinturas y plásticos debe cumplir con las especificaciones establecidas para su empleo en la fabricación de papel, y además debe satisfacer una especificación relativa a la resistencia eléctrica, con el fin de obtener una medida de la cantidad de sales residuales que pueda contener la arcilla.

#### CERAMICA

5.3 El caolín que se usa en la fabricación de productos de cerámica debe pasar y satisfacer un determinado número de ensayos, tales como coeficiente de rotura, equivalencia en conos pirométricos, color después de calcinado y grado de contracción; la resistencia de los cuerpos cerámicos es de vital importancia, así como la facilidad de trabajar con el material y la apariencia final de la pieza terminada.

En México, la industria consumidora de caolín requiere las siguientes especificaciones químicas y físicas de este material:

CARACTERISTICAS QUIMICAS

|        | Cerámica  | Papel     | Refractario | Cemento   | Pintura   |
|--------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| $O_2$  | 45-50     | 45-47     | 50-60       | 69-70     | 42-43     |
| $2O_3$ | 34-39     | 37-40     | 26-39       | 10-17     | 32-33     |
| $2O_3$ | 0.20-0.90 | 0.30-0.60 | 0.30-0.90   | 0.20-1.08 | 0.30-0.35 |
| $O$    | 0.00-0.50 | 0.10-0.40 | 0.00-0.50   | -----     | -----     |
| $O$    | 0.00-0.30 | -----     | 0.00-0.30   | 0.40-0.96 | 0.15-0.90 |
| $2O$   | 0.00-0.50 | 0.00-0.15 | 0.50-0.64   | -----     | 0.38-0.43 |
| $O$    | 0.00-3.00 | 0.00-0.10 | 0.00-3.00   | -----     | 1.60-1.88 |
| $O_2$  | 0.10-1.50 | 0.10-1.60 | 0.00-1.50   | 0.22-1.90 | 1.44-1.47 |
| * C    | 12-15     | 12-14     | -----       | 10-11     | -----     |

## PROPIEDADES FISICAS

5.4 Estas propiedades en las arcillas son los factores determinantes en su posible utilidad y uso industrial; las arcillas son utilizadas en innumerables industrias ya sea en menor o mayor escala; pero -- siempre de acuerdo con sus singulares propiedades.

Además de las propiedades físicas y químicas de las arcillas, es necesario considerar la posibilidad de beneficiarlas y de mezclarlas -- con otras arcillas o materiales de cualquier otra índole, con el objeto de producir un material comercial.

Las propiedades que se desean en cada caso, varían según la aplicación que se le va a dar al material, y de un mismo depósito se pueden sacar varios productos, con propiedades especiales para industrias muy diferentes. Siempre, en cualquier material y de cualquier depósito de arcillas, se hacen las pruebas preliminares no con el fin de probarlas para cada uno de sus usos probables, o el uso que se pretenda sacar del material, sino que sirve para dar al material una clasificación general; la cual sirva para justificar, las pruebas específicas según la clasificación inicial y las condiciones del yacimiento.<sup>1,2,4,5</sup>

### 1.- Grado Cerámico

|                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| Crudo                             | color blanco           |
| calcinado                         | blanco-crema           |
| H <sub>2</sub> O de plasticidad % | 32-45                  |
| contracción en seco               | 4 - 8%                 |
| Módulo de rotura                  | 3.7 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Tamaño de Partícula:              | -200 mallas            |
| pH                                | 4.5 - 5.5              |
| cono pirométrico                  | 33 - 35                |

2.- Grado Papelero

|                         |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| Color                   | blanco; crema claro; rosa pálido |
| Gravedad Específica     | 2.6                              |
| Tamaño de Partícula     | -325 (5%)                        |
| Dureza (Escala de Mohs) | 2.0                              |
| Brillantez              | G.E. 65 - 90 %                   |
| pH                      | 4.0 - 7.0                        |

3.- Grado Cemento

Suave de Moler

Color: blanco uniforme

Tamaño de Partícula 50 - 90  $m\mu$

$SiO_2$

---

$Al_2O_3 + Fe_2O_3$

Máx. 3 a 5

CAPITULO VI  
USOS Y APLICACIONES DEL CAOLIN

El caolín tiene muchas aplicaciones industriales; este mineral es muy útil a la industria debido a ciertas propiedades inherentes, entre las cuales se pueden citar las siguientes:

Es químicamente inerte en un rango muy amplio de pH; tiene color blanco cremoso cuando se emplea como pigmento en pinturas o en recubrimiento protector; es muy suave, no es abrasivo y posee baja conductividad de calor y electricidad; a más de que su costo en relación a otros productos competitivos es bajo.

Los requerimientos que acostumbran establecer las industrias consumidoras sobre el producto son muy específicos y particulares, como un ejemplo tenemos a aquellos consumidores que usan el caolín sólo como un relleno barato, que sólo necesitan que el mineral esté libre de impurezas, sin prestar importancia al color, algunos otros requieren grados de caolín que tengan una brillantez excepcional, o bien tamaños de partícula muy específicos para ciertas aplicaciones especiales.

En el caso de elaboración de aditivos para cemento, aún los caolines más pobres son adecuados, y por ello no es necesario que el mineral pase por ningún procesamiento.

No obstante, la tendencia que se sigue en la actualidad es fabricar un producto estandar a partir del mineral extraído de varias minas, controlando las propiedades finales con procesos subsecuentes apropiados.

Los mejores grados de caolín, esto es; los que satisfacen los requerimientos más específicos y exigentes, son los que se consumen en mayor cantidad y tienen, a la vez, el mayor costo.

## INDUSTRIA PAPELERA

6.1 La industria papelera es una de las que más consumen caolín beneficiado; la mayor parte del papel usado actualmente en las revistas a color contiene 30% de su peso de caolín.

El caolín usado en el papel llena los intersticios que hay entre las fibras del papel, aumentando la opacidad y mejorando el color, dando a la vez un acabado más suave a la superficie del papel e incrementando su afinidad a la tinta de impresión, además reduce los costos de producción de papel (el caolín es menos costoso que la pulpa de papel); es inerte en relación con los demás ingredientes de papel, se retiene bien entre las fibras y el grado requerido es disponible en grandes cantidades y es muy barato.

Como recubrimiento actúa dando una mayor reflectividad y brillantez al papel, a más de disminuir la viscosidad cuando hay contenidos muy altos de partículas sólidas, lo cual es muy importante, ya que reduce el tiempo de aplicación del recubrimiento y, consecuentemente, de producción; así, se presta a la producción de papeles brillantes debido también a su estructura laminar, en su forma natural el caolín no es muy brillante, después de un proceso químico para beneficiarlo, se blanquea y se obtienen grados de caolín con una brillantez hasta un 90%.

No es conveniente utilizar grados de caolín que tengan una brillantez muy baja y un nivel muy alto de impurezas, ya que redundan en un detrimento de la calidad del papel; el caolín que más se emplea es el que ha pasado por un tratamiento de lavado, y el caolín tratado térmicamente tiene escasa aplicación.

6.2 Este es uno de los primeros usos que se le dieron al caolín y posiblemente es la aplicación más conocida de este mineral, aunque en realidad la industria del papel es la que consume caolín en mayor cantidad, -- existe un gran número de productos de esta industria, y es posible agruparlos en categorías.

La primera de ellas es la de productos estructurales de arcilla, las arcillas empleadas deben poseer ciertas propiedades en particular, como lo es una buena plasticidad, resistencia en verde, resistencia en seco, -- contracción al secar, buen rango de vetrificación y color adecuado después de quemar. De hecho, el caolín solamente es una arcilla que se emplea en la elaboración de estos productos, y no suele ser especialmente puro o de alto grado.

En la fabricación de refractarios de alúmina se emplea una gran variedad de materias primas, sin embargo, casi todas las arcillas refractarias están compuestas principalmente de caolinita.

El caolín relativamente puro que se usa para este propósito (caolín bauxítico) se calcina antes de fabricar los ladrillos refractarios.

La loza está compuesta por lo general de feldespatos, pedernal y una arcilla adecuada para el propósito, que comúnmente es caolín. Se usa este mineral debido a que cristaliza con facilidad y posee una refractariedad apropiada; de acuerdo con los requerimientos, tiene que conformarse a los establecidos para las arcillas estructurales, a más de un color blanco o cremoso. Para esta categoría en particular se suelen estipular grados de caolín altos.

Existen varias arcillas que son apropiadas para uso en alfarería.

En este caso no es muy necesario que el producto sea blanco, y el caolín se usa sólo por su refractariedad.

Los ingredientes básicos de la porcelana son feldespatos, cuarzo y arcilla, ésta última debe tener una plasticidad conveniente, aunada a un tamaño de partícula muy fino.

Se emplea gran cantidad de porcelana en la fabricación de artículos eléctricos; es obvio que factores tales como conductividad, constante dieléctrica y otros semejantes son muy importantes, por lo que el caolín que se requiere debe tener una pureza muy alta.

## PINTURA

6.3 En la industria de las pinturas se usa el caolín debido a su blancura, a su opacidad y a su relativamente bajo costo; ya sea que se use como relleno o extensor, reduce la cantidad de pigmentos necesarios para fabricar la pintura. Para poder calificar como relleno, el caolín se debe dispersar con facilidad en la mezcla, debe tener un color adecuado, buenas propiedades reológicas y un tamaño muy fino de partículas; se usan tanto los caolines tratados térmicamente como los caolines lavados y principalmente en las pinturas para interiores y en imprimadores industriales para metales.

Debido a su estructura laminar, el caolín permite que la pintura se pueda aplicar con facilidad y que recubra mejor la superficie.

Su uso en pinturas para exteriores es limitado, debido a su escasa durabilidad.

Los grados de caolín que más se están consumiendo son los calcinados o tratados térmicamente, debido a su mayor resistencia a la abrasión y a su poder de recubrimiento, Estos caolines también son muy apropiados para la fabricación de pinturas vinílicas y de látex.

## OTROS USOS

6.4 Debido a su capacidad de rellenar, el caolín tiene muchas otras aplicaciones importantes que deben ser mencionadas, aunque en términos de tonelaje el consumo y el mercado son pequeños.

### FUNDICION DE METALES

El caolín es usado en la fundición por su excelente fluidez, propiedades de suspensión, color y características de desprendimiento de agua.

### HULE

La industria huleira consume grandes cantidades de caolín en la fabricación de hule natural y sintético, sería demasiado costoso fabricar artículos con un contenido de hule del 100%, por lo que se usa el caolín como agente de refuerzo y relleno, incorporándolo a la mezcla para mejorar ciertas propiedades físicas, como lo es la resistencia a la tracción, resistencia a la rotura, a la abrasión y rigidez, a más de disminuir el costo de producción.

Hay dos términos para distinguir los grados de caolín que se emplean en esta industria, y que son: caolín suave y caolín duro.

El caolín duro, que es más suave que muchas arcillas, es un caolín de partículas muy finas que tiende a mejorar la resistencia tensil del hule y su resistencia a la rotura y a la abrasión; se usa mucho por los fabricantes de hule para calzado y cubiertas de cables.

Los caolines suaves no tienen las mismas propiedades del caolín duro, y se usan para disminuir la elasticidad y mejorar la resistencia a la abrasión, en particular para productos tales como loseta para pisos y ciertos artículos de hule suave.

### PLASTICOS

Al igual que en la fabricación de hule, el caolín se usa como relleno y agente de refuerzo en la elaboración de algunos plásticos.

En la fabricación de cloruro de polivinilo (PVC) se emplea para aumentar las propiedades físicas del plástico que son necesarias para que éste soporte un servicio pesado.

Al añadir caolín tratado térmicamente a PVC se consigue aumentar la resistencia eléctrica del plástico en gran cantidad, lo que permite sustituir a polímeros más costosos en aislamiento de cables.

Los productos de caolín han colaborado a la eliminación de ciertos problemas de poliésteres y fibra de vidrio; esto se debe a que aumenta la fluidez de los polímeros empleados, resultando esto en una pieza más fuerte y uniforme.

Se usa para fabricar adhesivos y en recubrimientos textiles, en lugar de emplear hule, lo que reduce el costo y facilita la fabricación del producto.

También se usa en los adhesivos baratos empleados para elaborar loseta asfáltica, algunos adhesivos están rellenos de caolín lavado, en particular aquéllos constituidos por dextrina y almidón, que se usan para pegar papel.

En el caso de los recubrimientos textiles las funciones del caolín son semejantes a las del recubrimiento de papel.

Entre otras aplicaciones se encuentra la elaboración de fertilizantes e insecticidas, donde se usa como vehículo acondicionador.

Hay otros usos muy especializados tales como productos farmacéuticos, donde se emplea para fabricar pastillas y suspensiones estomacales.

Se usa también como catalizador para refinar petróleo crudo. En estas dos últimas aplicaciones se requieren grados de caolín muy especiales, de costo muy alto.

Para completar la aplicación tan extensa del caolín mencionaremos los artículos siguientes:

Tinta de impresiones, aditivo para alimentos, preparaciones catalizadoras, blanqueadores, absorbentes, filtros, yeso, cosméticos, crayones, lápices, detergentes, goma, granulado para techos, calibradoras, lino-leums, textiles, etc.<sup>4, 5, 13, 14, 17</sup>

CAPITULO VII  
PARTE EXPERIMENTAL

No se proporciona localización exacta a solicitud de la institución - que donó el mineral; la identificación del mineral se llevó a cabo por el método de absorción atómica.

## FUNDAMENTOS

Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionado con el núcleo atómico y que juntamente con él da una estructura orbital que es única para cada elemento.

Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada, la configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como "estado fundamental" y es la configuración orbital normal para el átomo.

Si a un átomo se le aplica la energía apropiada, ésta será absorbida por él e inducirá a que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o estado excitado, como este estado es inestable, el átomo inmediatamente retornará a su configuración fundamental, cuando - esto último ocurre el electrón emite energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida durante el proceso de excitación.

La longitud de onda de la energía radiante emitida está directamente relacionada a la transición electrónica que se ha producido, puesto que lo caracteriza; la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento.

Cuando la luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en estado fundamental, el átomo puede absorber energía y pasa al estado excitado, en un proceso conocido como absorción atómica.

## TECNICA

1. Se pesan dos muestras de 0.5 g. de mineral y se les agrega 5 g. de NaOH a la primera y 5 g. de KOH a la segunda.
2. Ambas muestras se llevan a fusión en un crisol de Ni a fuego lento - con la finalidad de evitar proyecciones.
3. Después de que se ha hecho la fusión, el crisol se deja enfriar y se le adiciona agua y HCl conc. para disolver la pastilla formada, hecho lo anterior se pasa la solución a un vaso de precipitados.
4. La solución resultante se deja reposar en la estufa durante 15 minutos con la finalidad de que haya una buena disgregación de la sílice.

- 5.-Después del reposo se filtra la solución y al precipitado se lleva a calcinación a 800 °C durante una hora.
- 6.-El filtrado se afora a 250 ml y en esta solución se lleva a cabo la identificación de los elementos presentes en el mineral.
- 7.-La finalidad de hacer dos fusiones es que en una se identificara sodio y en otra potasio.

#### RESULTADO

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 65.80       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21.10       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.18        |
| CaO                            | 0.53        |
| MgO                            | 0.31        |
| Na <sub>2</sub> O              | 11.10       |
| K <sub>2</sub> O               | 0.12        |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.02        |
| H <sub>2</sub> O               | <u>2.09</u> |
|                                | 101.25      |

Además se llevaron a cabo los siguientes análisis:

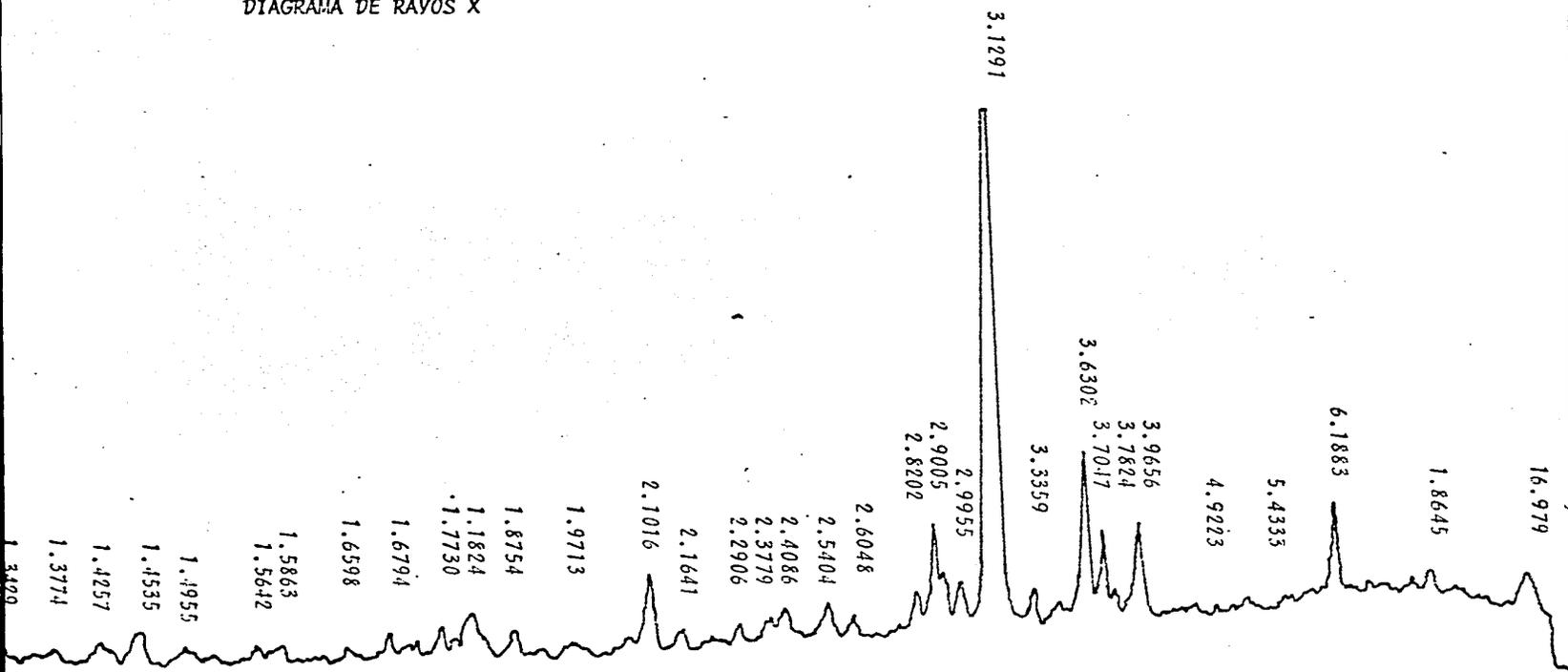
- a) Caracterización del mineral por difracción de rayos X.
- b) Caracterización por espectroscopia de Infrarrojo.
- c) Caracterización por Análisis Térmico Diferencial.

#### RAYOS X

Este método es particularmente adecuado para el estudio de minerales arcillosos; el aparato registra los diferentes planos de los cristales y de este modo se obtienen una serie de bandas características pertenecientes a la familia de plano hkl para cada sustancia.

La intensidad de estas bandas da una idea aproximada de la cantidad de mineral y con la ayuda de tarjetas de la ASTM, se llega a un resultado de identificación correcta del mineral cuyo tamaño de partícula varía de 1 a 5  $\mu$ m.

DIAGRAMA DE RAYOS X



## Análisis térmico diferencial

El análisis térmico diferencial es una técnica en la cual se detectan los cambios físicos y químicos de arcillas y otros materiales alternados, asociados con la temperatura, se grafican en función de la misma o del tiempo a medida que la muestra se calienta a una velocidad que puede ser uniforme.

La temperatura de la sustancia problema es comparada con el material de referencia o inerte que generalmente es alfa-alúmina.

Cuando se verifica una reacción térmica en la muestra, en el circuito del aparato, se genera una fuerza electromotriz, en una u otra dirección dependiendo si es una reacción térmica o endotérmica, entonces la temperatura será más alta o más baja que la del inerte o material de referencia.

El calentamiento se lleva a cabo en un horno con termopares idénticos en donde se colocan la muestra a determinar y en la otra el material de referencia, los termopares están conectados a un sistema de detección que capta las diferencias de temperatura entre ambos materiales.

Resultados: primero hay una deshidratación y a continuación tres descomposiciones, a 671 °C, 739 °C y por último a 1227 °C.

Con el objeto de obtener un criterio de aplicación de acuerdo a su composición se efectuaron las siguientes pruebas:<sup>3,4,16</sup>

- a) Análisis de mallas
- b) Contracción al secado y quemado
- c) Color al quemado
- d) Color natural
- e) Cono pirométrico
- f) Como materia prima para fritas
- g) Como esmalte.

Se utilizó la muestra en diagrama de polvos y un equipo Philips -- PW 1050/25 con un tubo de cobre encontrándose el diagrama anexo.

Resultado: de la observación de las dhkl características para esta muestra; podemos clasificarla dentro del grupo de los feldespatos según la tarjeta ASTM No. 9.466.

#### Caracterización por infrarrojo

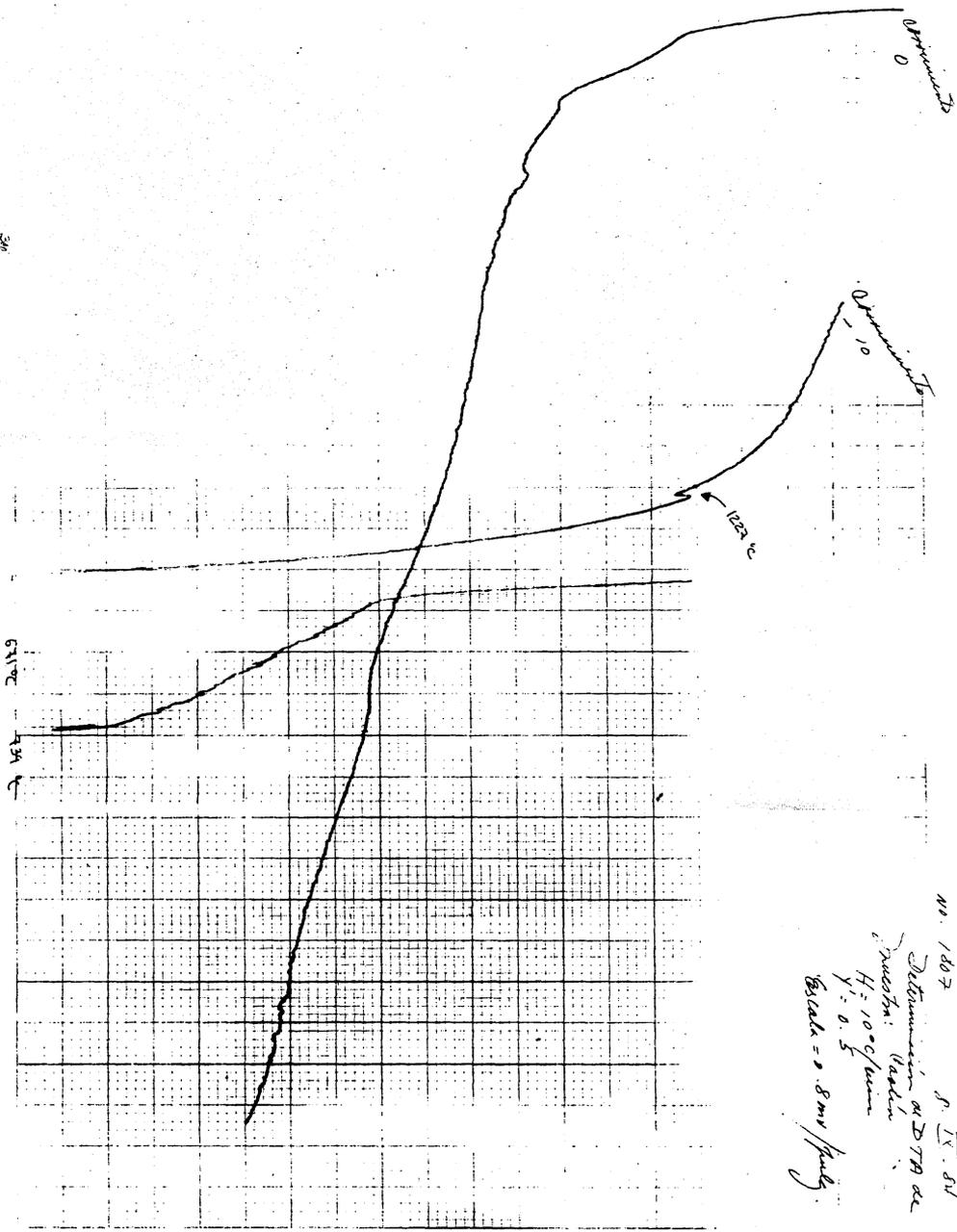
Este método sirve para detectar los grupos funcionales de acuerdo a los modos de vibración.

La muestra se preparó con KBr y nujol corriéndose de 200 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  en un espectrómetro Perkin-Elmer.

Los resultados son los siguientes:

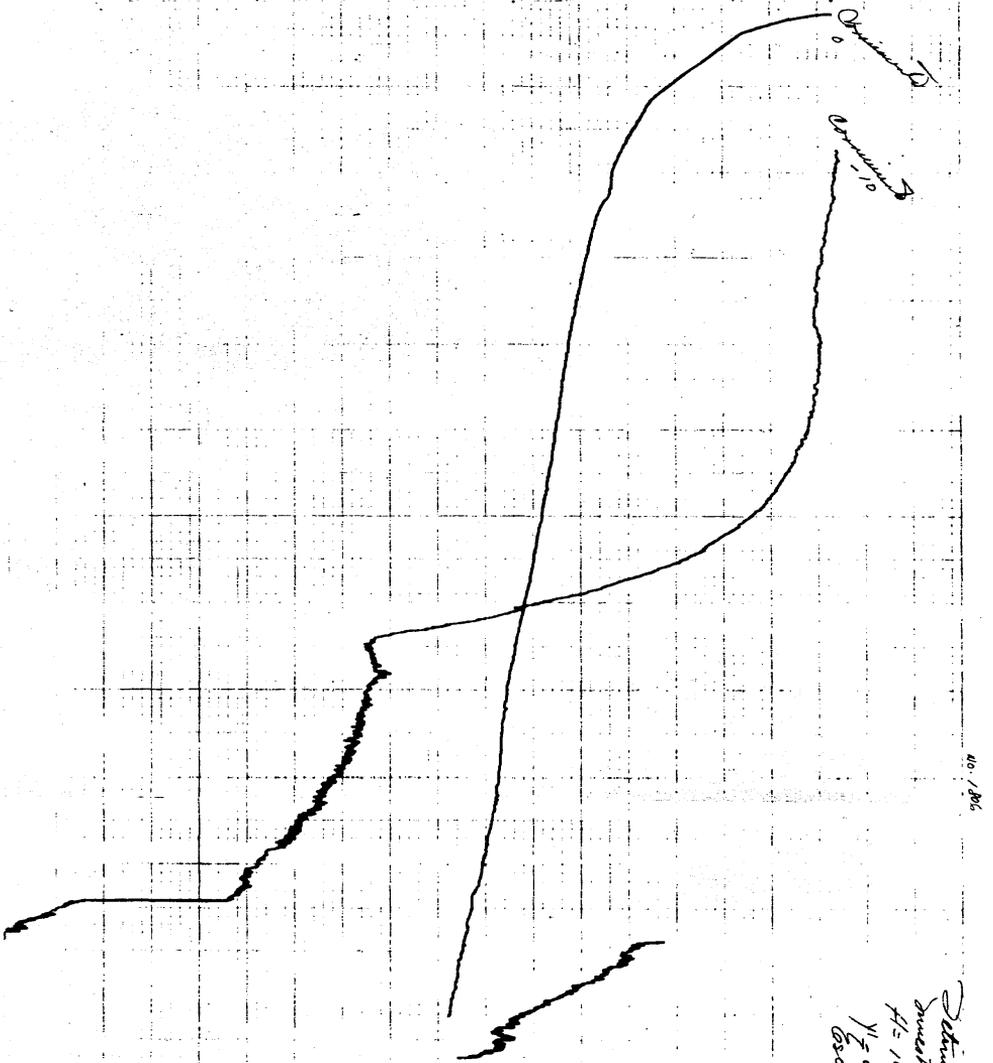
Se observan las vibraciones de OH en la región de  $3700 \text{ cm}^{-1}$ ; de --  $1000$  a  $1200 \text{ cm}^{-1}$  la región correspondiente a las vibraciones Si-O y  $\text{SiO}_2$ , de  $600$  a  $800 \text{ cm}^{-1}$  la región correspondiente a las vibraciones Al-R en -- donde R podrá ser Fe, Mg ó Ca de acuerdo a la naturaleza del caolín; por último se observa la región de  $400$  a  $600 \text{ cm}^{-1}$  que corresponde a la unión Al-OH de los tetrahedros que forman parte del arreglo cristaloquímico de esta muestra. (Ver diagrama anexo).

DIAGRAMA DE ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL



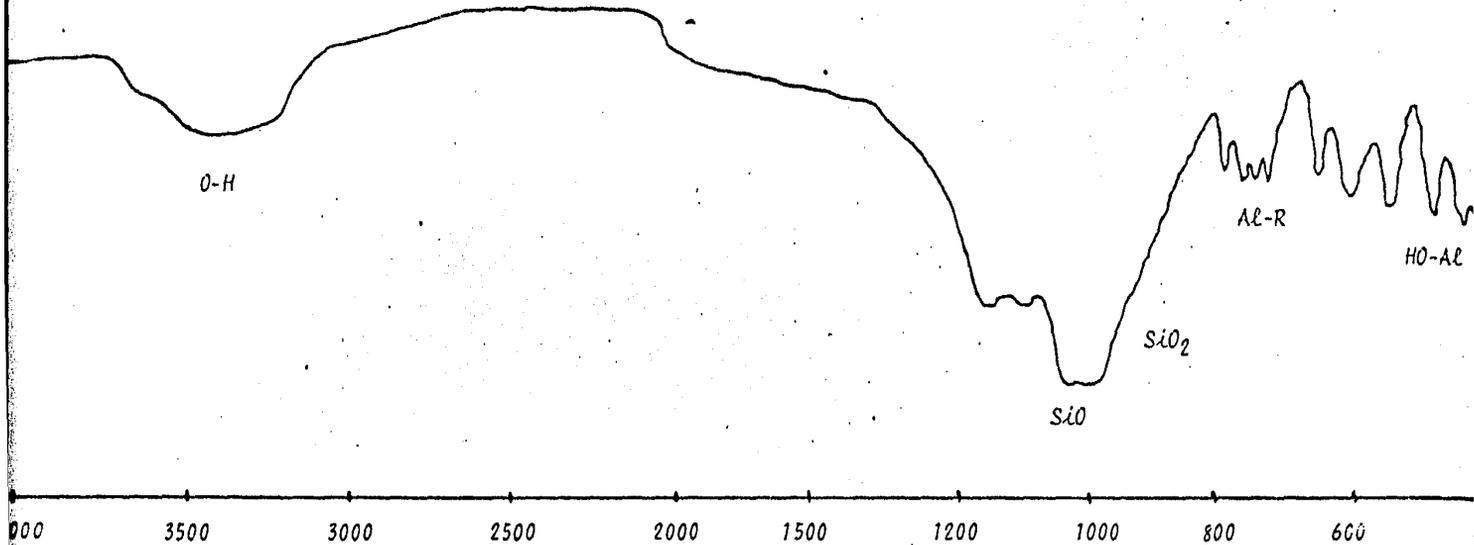
NO. 1807 S. IX. 8V  
Determinación de DTA de  
muestras: NaOH  
H: 10°C/min  
γ: 0.5  
Escala = 0.8mV/grad.

DIAGRAMA DE ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL



18. IX. 84  
Determinación de T<sub>g</sub> de  
Quercina. (Caden)  
H = 10°C/min  
V = 0.5  
Caudal = 0.8 ml/min

DIAGRAMA DE ESPECTRÓSCOPÍA INFRARROJA



Muestra: caolín  
KBr-Nujol  
Ref: Aire  
R = Fe, Mg, Ca

### a) ANALISIS DE MALLAS

El análisis de mallas se lleva a cabo para determinar el tamaño de partícula.

Se pesan 500 g. de muestra y se procede a hacer el tamizado a diferentes mallas por un tiempo de 40 min.

### RESULTADOS

|           | Peso (g)   | % Ret. | % Ac (+) | % Ac (-) |
|-----------|------------|--------|----------|----------|
| + 40      | 58         | 11.16  |          | 98.99    |
| - 40 +100 | 58         | 11.16  | 22.32    | 87.83    |
| -100 +150 | 28         | 5.62   | 27.94    | 76.67    |
| -150 +200 | 28         | 5.62   | 33.56    | 71.05    |
| -200 +250 | 8          | 1.6    | 35.16    | 65.43    |
| -250 +325 | 20         | 4.0    | 39.16    | 63.83    |
| -325      | <u>298</u> | 59.83  | 98.99    | 59.83    |
|           | 498        |        |          |          |

### b) Contracción al secado y quemado

En una prensa hidráulica se hacen las briquetas de la muestra a probar y se someten a un secado previo en una estufa por doce horas a 90 °C; se toman sus dimensiones y se calcula el % de contracción al secado.

Posteriormente se meten al horno en donde la temperatura partirá de cero grados en forma ascendente hasta 1260 °C y en este punto se tendrá un tiempo de permanencia de 60 min., después de esto empezará a descender lentamente hasta cero grados.

Para obtener el % de contracción se toman las longitudes inicial y final.

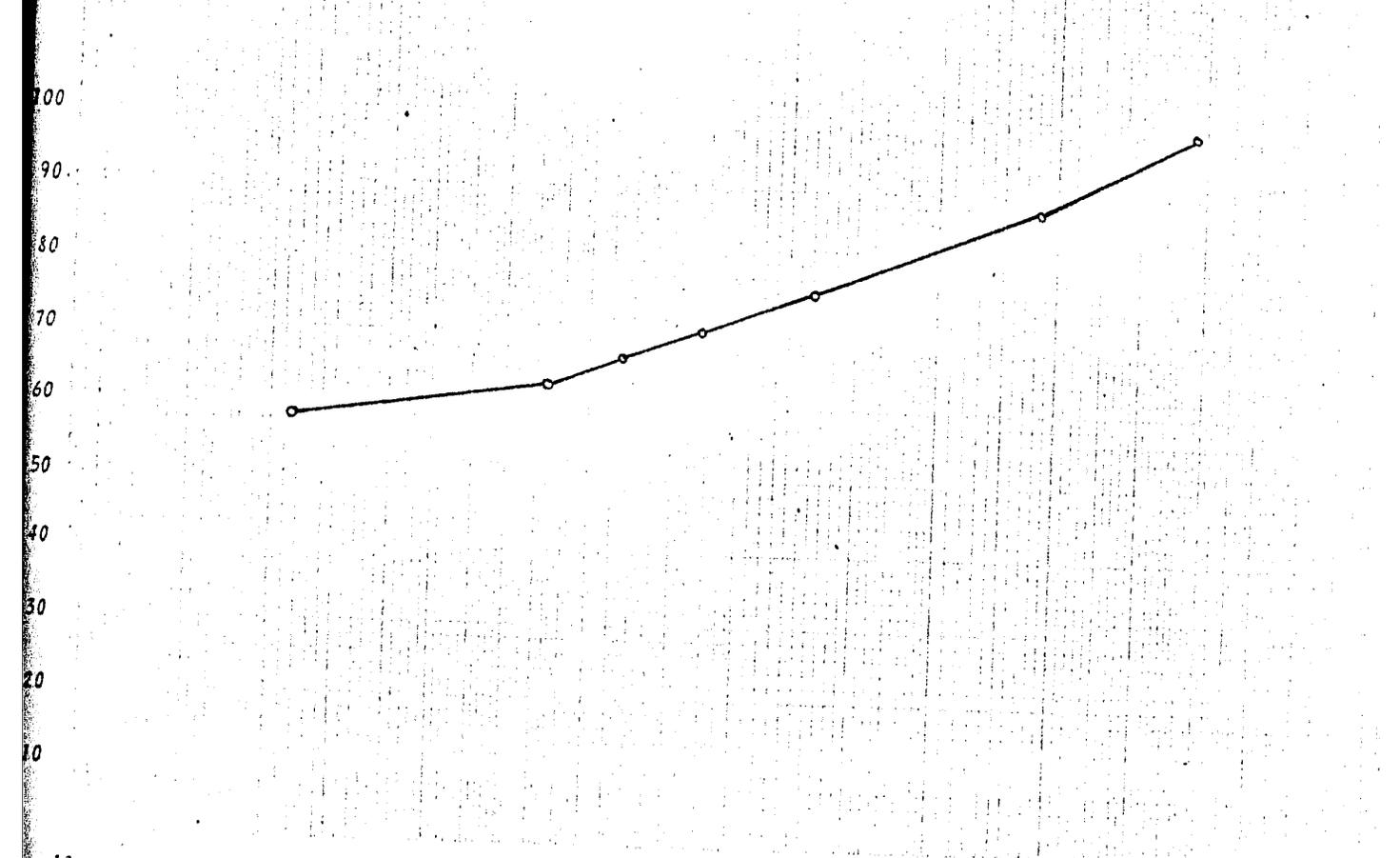
CURVA GRANULOMETRICA DE ACUMULADO DE FINOS

Ac. (-)

100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10

10

100



$$\text{Contracción en \%} = \frac{\text{Longitud inicial} - \text{Longitud final}}{\text{Longitud inicial}} * 100$$

$$L_1 = 12 \text{ cm} \quad L_2 = 11.7 \text{ cm} \quad L_3 = 11.85 \text{ cm} \quad L_4 = 11.75 \text{ cm}$$

$$C_1 = \frac{12 - 11.7}{12} * 100 = 2.5$$

$$C_2 = \frac{12 - 11.85}{12} * 100 = 1.25$$

$$C_3 = \frac{12 - 11.75}{12} * 100 = 2.08$$

$$X = 1.94$$

Contracción al quemado

$$L_1 = 12 \text{ cm} \quad L_2 = 11.2 \text{ cm} \quad L_3 = 10.9 \text{ cm} \quad L_4 = 11.15 \text{ cm}$$

$$C_1 = \frac{12 \text{ cm} - 11.2}{12 \text{ cm}} * 100 = 6.6$$

$$C_2 = \frac{12 - 10.9}{12} * 100 = 9.16$$

$$C_3 = \frac{12 - 11.15}{12} * 100 = 7.08$$

$$X = 7.6\%$$

c) Color al quemado

Esta prueba consiste en observar el color que presentan las briquetas al finalizar la prueba anterior; la muestra se quemó a 1260 °C

Resultado: color blanco

d) Color natural: el color que presenta el caolín es blanco y observado al microscopio se detecta cuarzo libre, posee una densidad de 2.6 y un pH de 5.3

e) Cono pirométrico.

El cono pirométrico es una prueba comparativa de la temperatura a la cual una pequeña pirámide triangular dobla por su peso y corresponde aproximadamente al comienzo de la fusión del material.

Resultados:

1) La fusión empezó a los 1300 °C (cono No. 11)

2) Su aspecto es blanco, tiene buena apariencia

f) Como materia prima para fritas

El mineral se secó a 100 °C por tres horas; se molió a -100 mallas y se pesó así como los demás materiales.

El mineral se factorizó dentro de una frita cuyos principales constituyentes son:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$ , obteniéndose la siguiente fórmula de carga:

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| Frita           | 44.31 (%) |
| Mineral         | 17.01     |
| $\text{CaCO}_3$ | 14.15     |
| $\text{ZnO}$    | 4.80      |
| $\text{SiO}_2$  | 9.16      |
| Caolín EPK      | 10.53     |

Posteriormente se procedió a la homogeneización de la muestra para finalmente llevarla a fundición en un horno de gas a 700 °C por un tiempo de 45 minutos.

Después de que se ha llevado a cabo la fusión se vierte el contenido del crisol en agua, luego, se pone a secar la frita obtenida para su posterior molienda en seco.

g) Prueba de esmalte.

La prueba del esmaltado se llevó a cabo de la siguiente manera:

Se pusieron 90 g de la frita obtenida; 10 g de caolín EPK y 60 ml de agua, luego; se llevó a molienda por 30 minutos con la finalidad de tener la muestra a -200 mallas.

El esmalte obtenido se aplicó sobre azulejo con colores bajo barniz por el proceso de aspersión.

Después la pieza se sometió a un calentamiento gradual partiendo

de 0 °C hasta 1080 °C y en seguida un enfriamiento lento hasta temperatura ambiente; este proceso es realizado en un tiempo de ocho horas.

En base a los resultados obtenidos puede decirse que esta frita es transparente, brillante y de fusibilidad media.

Se recomienda su uso principalmente en loza y porcelana artística con decorado bajo barniz.<sup>1, 2, 7, 15</sup>

CAPITULO VIII  
CONCLUSIONES

Debido al desarrollo industrial y económico que tiene México, que posee yacimientos de caolín potencialmente rentables que no se han estudiado en gran parte y que nuestro país importa parte de esta materia prima; con una considerable fuga de divisas; tomando en cuenta lo anterior es imperioso hacer un estudio respecto a los caolines existentes.

La finalidad de este estudio fue la de identificar el mineral, conocer sus propiedades físicas y químicas y su comportamiento a altas temperaturas, con la idea de aprovecharlo en la industria cerámica.

Su caracterización mineralógica se efectuó por medio del estudio de difracción de rayos X; de los resultados obtenidos el mineral se clasifica dentro del grupo de los feldespatos; mediante la Absorción Atómica se obtuvo la composición cuantitativa en óxidos del mineral; caracterización por espectroscopia de infrarrojo, su estudio comprueba la existencia de grupos funcionales, por medio de vibraciones moleculares, observándose a  $3700\text{ cm}^{-1}$  la región correspondiente a las vibraciones O-H de  $1000$  a  $1200\text{ cm}^{-1}$  la región correspondiente a las vibraciones Si-O; -SiO<sub>2</sub>, de  $600$  a  $800\text{ cm}^{-1}$  la región correspondiente a las vibraciones Al-R en donde R podrá ser Fe, Mg ó Ca dependiendo de la naturaleza del caolín, por último se observa la región de  $400$  a  $600\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a la unión Al-OH de los tetrahedros que forman parte del arreglo cristaloquímico de esta muestra.

Análisis Térmico Diferencial; este análisis nos proporcionó la información necesaria del comportamiento del material a diferentes temperaturas, observándose una primera deshidratación a bajas temperaturas y tres descomposiciones cristalográficas a  $671$ ,  $739$  y  $1227\text{ }^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

México importa al año en promedio  $58,225$  toneladas, lo que significa una fuerte salida de divisas, las necesidades del país pueden satisfacerse con los yacimientos de caolín existentes ya que son de una pureza bastante aceptable, esta materia prima podrá usarse en la industria y por lo tanto se tendrá, una disminución en los egresos.

Por sus propiedades físicas y químicas podemos considerar que este caolín estudiado presenta posibilidades de aplicación sumamente interesantes.

De acuerdo a las especificaciones requeridas para el caolín utili

zado en la industria del papel, esta muestra cumple los requisitos adecuados.

Su comportamiento con la temperatura nos indica que puede ser utilizado en la industria cerámica además de que su comportamiento al esmaltado es excelente.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- F. SINGER Y S.S. SINGER  
ENCICLOPEDIA DE LA QUIMICA INDUSTRIAL  
VOL. I, II Y III  
EDICIONES URMO  
BILBAO ESPANA 1976.
- 2.- KIRK-OTHMER  
ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA  
VOL. II  
NUEVA YORK
- 3.- C. DIAZ MAURINO  
INICIACION PRACTICA A LA MINERALOGIA  
EDITORIAL ALHAMBRA  
EDICION 1976 MADRID
- 4.- PEDRO F. ZARATE DEL VALLE  
TESIS PROFESIONAL 1975  
ESIA IPN  
CARACTERISTICAS GENERALES DEL CAOLIN Y EXPLORACION DE ARCILLAS CAOLINITICAS EN LA REGION DE COACOVULA DE ALVAREZ, EDO. DE GUERRERO.
- 5.- MANUEL MUNOZ GONZALEZ  
TESIS PROFESIONAL 1961  
INGENIERIA UNAM  
EXPLORACION DE CAOLIN EN EL MUNICIPIO DE IGUALA GUERRERO
- 6.- PAUL F. KERR; Ph. D.  
OPTICAL MINERALOGY  
THIRD EDITION  
COLUMBIA UNIVERSITY
- 7.- KAZUO NAKAMOTO  
INFRARED AND RAMAN  
ESPECTRA OF INORGANIC AND COORDINATION COMPOUNDS  
THIRD EDITION  
1978

- 8.- AMERICAN MINERALOGIST  
TOMO 41 PAG. 632-647  
1956
- 9.- LEET Y HUDSON  
FUNDAMENTOS DE GEOLOGIA FISICA  
EDITORIAL LIMUSA  
1979
- 10.- EDWARD S. DANA  
WILLIAM E. FORD  
EDITORIAL C.E.C.S.A.  
1978
- 11.- ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA; EXPORTACION-IMPORTACION:  
DIRECCION GENERAL DE ADUANAS.  
ANUARIO ESTADISTICO DE CONSEJO DE RECURSOS MINERALES
- 12.- DR. OTTO WURZ  
FABRICACION DE PAPEL  
ULTIMOS AVANCES SOBRE PROCESOS Y MAQUINARIA  
EDITORIAL REVERTE, S.A.  
3a. EDICION PAG. 63-93
- 13.- JAMES P. CASEY  
PULP AND PAPER  
CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGY  
THIRD EDITION  
VOL. III
- 14.- ING. HOMERO MONJARDIN LOPEZ  
MEMORIA DE LA X CONVENCION NACIONAL.  
ASOCIACION DE INGENIEROS DE MINAS Y METALURGISTAS Y GEOLOGOS DE - -  
MEXICO  
PREPARACION DE CAOLINES PARA SU USO INDUSTRIAL  
PAG. 651-665.

- 15.- RALPH E. GRIM  
CLAY MINERALOGY  
SECOND EDITION  
McGRAW-HILL
- 16.- DE PABLO G.L.  
CAOLINITA DE ESTRUCTURA DESORDENADA DE CONCEPCION DE BUENOS AIRES, -  
ESTADO DE JALISCO, MEXICO  
INSTITUTO DE GEOLOGIA 1965
- 17.- DR. LUIGI PIATTI  
ENCICLOPEDIA DE LA TECNOLOGIA QUIMICA.  
TECNICA DE PROCESOS DE LAS INDUSTRIAS QUIMICAS Y DERIVADAS.  
TOMO IV  
EDICIONES URNO  
BILBAO ESPANA 1973