

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

**IDENTIFICACION DE LAS ARCILLAS
UTILIZADAS EN LA FABRICACION DE
LAPICES Y PUNTILLAS.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

QUIMICO

Presenta:

Ma. Antonieta Rios Mendoza

301



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 esta 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.

CLAS. Tesis
ADQ. 1975
FECHA
PROC. M 1 488 287



QUÍMICA

A mi madre :

Doña Margarita Mendoza de Ríos
que es y será la luz que ilumine
mi camino.

A mis hermanos con cariño:

Arq. Enrique Ríos Mendoza.
Prof. Salvador Ríos
Prof. Juan Ríos Mendoza
I. Q. Elsa Margarita Ríos M.

Con todo cariño a mi novio:

Act. Mario Gonzalez García.

Mis agradecimientos al Personal
del Instituto de Geología y en -
especial:

A mi asesor;

Quím. Darío Renán Pérez
Priego.

Ing. Alberto Obregón Pérez

Ing. Angel Rodríguez Muñoz.

Agradezco las facilidades y las
atenciones para la realización -
de este Trabajo a la Comisión
de Fomento Minero y Especial-
mente:

Al Ing. Luis Espinoza de León
y
Quím. Raquel Ríos García.

PRESIDENTE Prof. Guillermo Hernández Angeles

VOCAL Prof. Alberto Obregón Pérez

Jurado asignado originalmente según el tema.

SECRETARIO Prof. Darío Renán Pérez Priego

1er. SUPLENTE Prof. Alicia Benítez de Altamirano

2do. SUPLENTE Prof. Enrique Fuentes Cáceres

Sitio donde se desarrolló el tema: Instituto de Geología de la UNAM

Nombre completo y firma del sustentante:

Ma. Antonieta Ríos Mendoza.
Ma. Antonieta Ríos Mendoza.

Nombre completo y firma del asesor del tema

Darío Renán Pérez Priego.
Darío Renán Pérez Priego.

I N D I C E

INTRODUCCION

I) GENERALIDADES

A) FABRICACION DE LAPICES

B) PROPIEDADES GENERALES DE LAS ARCILLAS

C) ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X

1) Producción de rayos X

2) Tubos de cátodo incandescente

3) Espectro de rayos X

4) Descripción del difractor

D) ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL Y GRAVIMETRICO

II) PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

A) ANALISIS QUIMICO

B) ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X

C) ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

D) ANALISIS TERMICO GRAVIMETRICO

III) CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

México tiene un consumo de 215,838 millares de lápices y -
puntillas para lapicero por año, que le obligan a importar 26,528 --
toneladas de arcilla con un costo de \$62,606,080 por año.

La presente tesis tiene por objeto identificar la clase --
de arcilla usada para la elaboración de puntillas, con objeto de ver
la posibilidad de abastecer el mercado nacional con arcillas del pa-
ís y así impedir la fuga de divisas.

CAPITULO I

A) FABRICACION DE LAPICES

Durante la Edad Media el papel fué pintado con tinta usando una brocha llamada penicillus (del latín significa pequeña cola-), del cual viene la palabra lápiz.

El pincel, significa en alemán moderno brocha y nunca se ha usado para lápices de plomo. En alemán Bleistift se utiliza para denominar a los lápices, que se traduce literalmente como "punta de plomo". Una barra hecha de una aleación de plomo y estaño fué llamada "herramienta de punta de plata" y fué usada por Albrecht Dürer a principios del siglo XVI; las marcas fueron hechas con este instrumento y fueron borradas con pan.

Konrad von Gesner en " De omni rerum fossilium genere " (1565), fué el primero en describir en un artículo, en el cual el grafito era insertado dentro de una agarradera de madera.

El lápiz moderno de plomo fué posible hacerlo por el descubrimiento en 1564 de un depósito no usual de grafito puro en Borrowdale, Cumberland Inglaterra. De acuerdo a la tradición la mina fué encontrada cuando un gran roble era arrancado por una tormenta. El grafito fué entonces conocido como un tipo de plomo y consecuentemente fué llamado plomo negro ó plumbago. Gesner fué el primero en describir la separación mineral, llamándola "stimmi anglicanum", ó antimonio inglés.

Carl Wilhelm Scheele en 1779 demostró que se trataba de una forma del carbón, y Abraham G. Werner en 1789 le dió el nombre de grafito basándose en el griego "graphein" que significa para escribir.

El plomo negro de Borrowdale fué el primero usado en trozos llamados piedras marcadoras; más tarde barras de grafito fueron envueltas con un cordel y se iba desenrollando de acuerdo se gastaba la punta. Las piezas fueron empujadas dentro de tubos y más tarde fueron sostenidas por pinzas de metal, éstos sosténes se llamaron -- porta crayones ó portcrayones. Estos fueron los pioneros del lápiz - mecánico (bolígrafos). El grafito de la mina de Borrowdale; el cual fué operado como un monopolio del Reyno, fué tan alta su calidad que fué utilizado en su forma natural. A menudo como el grafito llegó a escacear, varios métodos fueron buscados para unir el grafito en --- polvo dentro de formas utilizables con gomas, resinas, pegamentos, y otros adhesivos. La primera composición de grafito para lápiz fué -- hecha en Nurnberg, Alemania, en 1662 donde Kaspor FÉber estableció - su lápiz con fines de negocio en 1761.

La mezcla que más se acercó para la calidad de la escritura del grafito puro consistió de una parte de azufre y dos partes de grafito. La forma del grafito aglutinado para hilos y cedazos fué -- descrito por J. Pettus en 1688; la manufactura de éste tipo de lápiz fué empezado en Inglaterra por T. y R. Rowney en 1789.

Más tarde en el siglo XVIII, cuando las importaciones para Francia fueron suspendidas debido a la guerra, Napoleón Bonaparte co misionó a Nicolas Jacques Conté a descubrir un sustituto para la importación de los lápices. En enero de 1795 una patente francesa fué expedida a Conté para un lápiz de manufactura de plomo que es el pio nero del proceso moderno. El mezcló arcilla y grafito con agua y la pasta se presionó dentro de moldes de madera para secar.

En Viena, al mismo tiempo Joseph Hardtmuth alcanzó los mis

mos resultados y por variación del contenido de arcilla varió la dureza de las puntillas. En 1839 Johann Lothar von Faber de Nurnberg - improvisó el proceso de Conté desde la compresión de la pasta através de un molde introduciendo maquinaria que cortaba la madera introducía la puntilla y daba forma a la punta del lápiz; la primera puntilla para copia fué hecha por Karl Puscher en 1857. Las puntillas de este tipo contienen un tinte que no es inflamable.

En los Estados Unidos Joseph Dixon estandarizó la manufactura de lápices en Salem, Mass. en 1827. Un hombre llamado Wood, el socio de otro manufacturero, William Monroe se le acredita el uso de la primera maquinaria para la manufactura de lápices. En 1876 la compañía de Dixon introdujo un plomo redondo en vez de cuadrado. Mientras tanto en Inglaterra los lápices se varnizaron y fueron introducidos por George Rowney y Co. en 1846. En los años 1930, algunos métodos fueron descubiertos para la unión del plomo con seguridad al surco de madera y por ésto se incrementa la resistencia al rompimiento.

LAPIZ DE COLOR.- Las puntas de color son hechas con cualquier pigmento soluble ó insoluble en agua. Ambas clases de puntillas son esencialmente una mezcla de material colorido, relleno, lubricante y abrasivo. El relleno es frecuentemente arcilla ó talco, el lubricante es un ácido graso y ócera, ó productos sintéticos, y el unificador es cualquier goma natural, es decir tragacanto, una goma hecha por el hombre ó un eter de celulosa, resinas sintéticas tambien son usadas pero con cierto límite. La función del unificador es dar fuerza mecánica. Las puntas para copia son hechas de pigmentos y unificador, mientras que las puntas indelebles son esencialmente violeta de me

tilo, grafito y unificador.

La práctica general es hacer una buena mezcla de pasta de los ingredientes, presionar para la formación de la puntilla através de un colador y secar los tramos mojados.

METODO DE MANUFACTURA

El método general usado en la manufactura del plomo negro del lápiz es como sigue:

Las arcillas bola y los grafitos naturales algunas veces - mezclados con agua y agentes dispersantes para producir una masa de características duras. Esta masa se empaqueta solidamente dentro de un cilindro de una prensa de extrusión y entonces la masa se fuerza através de un pequeño orificio de un molde hecho de diamante, zafiro, ágata ó carburo de cemento. Las formaciones rígidas y de textura masiva, se cortan hasta la longitud del lápiz, se secan y entonces se -- hornean mientras que se hace pasar por un horno. La temperatura de -- horneado varía de 1600 a 2200 °F (alrededor de 871° a 1204°C) siendo común el utilizar las siguientes temperaturas de 1900° a 2000°F, (alrededor de 1037° a 1093°C), una vez realizado el horneado de los plomos entonces se encera por medio de la impregnación de un lubricante que es usualmente una mezcla de ácidos grasos ó grasas con ó sin aditivos. Después del tratamiento químico para remover el exceso de cera en su superficie, las barras se introducen en una estructura de madera. Ese cuerpo de madera generalmente se orada en diámetros que varían entre .070 y .170 pulgadas; las puntas más suaves se hacen -- con diámetros mayores para así reforzar su resistencia y también para que tengan mayor duración. Las puntas para lápices mecánicos generalmente se conforman en diámetros de .036 ó .046 pulgadas.

Los lápices comunes es decir con madera se fabrican en una máquina que opera por medio de ensamblajes. Esta máquina tiene de --
'dos a nueve casilleros semicirculares paralelos y espaciados, en el-
cual se cortan las barras de madera de aproximadamente 184 mm de lar-
go, 5 mm de espesor y aproximadamente 65 mm de ancho, (esto es apro-
ximadamente $7,1/4 \times 1/5 \times 2,1/2$ pulgadas). Las puntas del mismo diáme-
tro se introducen en los pñeles y entonces se acomodan en capas, --
quedando estas puntas entre dos tiras a las cuales previamente se --
les ha agregado un adhesivo y entonces se deja bajo presión hasta --
que el adhesivo una las dos partes. Se utilizó generalmente goma pa-
ra realizar ésta operación, sin embargo ha sido completamente reem-
plazada por una emulsión adhesiva de acetato de polivinilo. Sin em-
bargo tambien se utiliza cierta goma la cual por medio de electrici-
dad de alta frecuencia hace que la goma reaccione rápidamente, (al-
rededor de 50 seg.).

Los lápices individuales se cortan a lo largo, es decir a-
partir de los pñeles que han sido pegados y entonces se hacen pasar
hacia unas máquinas de rotación a alta velocidad, los cuales le dan-
la formación hexagonal ó tambien los bordes redondos característicos
de los lápices, generalmente se le hace pasar a la madera en su su -
perficie lacas pigmentadas de nitrocelulosa, las cuales son aplica -
das en forma mecánica a lo largo y posteriormente se cepilla el exce-
so de pigmento por medio de placas de hule. Los lápices así pigmenta-
dos caen en una banda transportadora donde se secan. Generalmente se
utilizan de tres a diez manos de laca, y los lápices de alta calidad
usualmente reciben más laca que la acostumbrada. Después los lápices
son rebajados hasta que aparece la punta, ó si no se deja así pero--

mostrando la parte de la puntilla, si se desea se le puede agregar a un casquete metálico con un borrador común en el final.

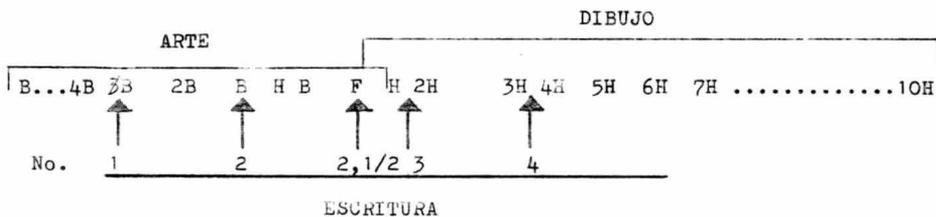
CALIDAD Y DUREZA.- La calidad de los lápices de madera depende principalmente de la calidad y finura de los grafitos utilizados y además la calidad del cedazo utilizado para cernir. Los cedazos californianos de incienso ó sea libocedris, son utilizados en los mejores lápices, pero sin embargo se ha reemplazado por un cedazo rojo traído de Kenya y del este de los Estados Unidos que es el que se utiliza más frecuentemente. La dureza del lápiz que es independiente de la calidad, se determina por la proporción de la arcilla y el grafito a mayor cantidad de arcilla presente, mayor es la dureza de la punta. La temperatura del horneado y el tipo de encerado ejerce una influencia menor y más fácil de controlar para así adquirir una uniformidad en la dureza en los diferentes procesos de fabricación.

Se utilizan dos sistemas para designar la dureza, el rango de los lápices para dibujo en designación desde el ocho B, que es el más suave hasta el diez H que es el más duro. La dureza en los lápices de escritura se designa por un rango de números que van desde el uno al cuatro, sin embargo el rango solapa los rangos tanto de los lápices artísticos como los lápices para dibujo, los cuales también se van solapando uno tras otro.

El grado de dureza de una punta es una medida que determina la resistencia a la abrasión por las fibras del papel donde se escribe, a mayor velocidad de uso más suave se vuelve la punta. El espesor aparente de las líneas ó de las marcas que hace la punta dependen del tamaño de las pequeñas partículas de la punta depositada sobre el papel, las partículas son del mismo espesor sin importar el grado de dureza, sólo su tamaño y número determinan la cantidad ó su

perficie del papel que va a ser oscurecido. El tipo de papel y la humedad atmosférica también influyen en la cantidad de punta depositada, así como también la finura de la punta del lápiz y la cantidad de presión utilizada al escribir.

OTROS TIPOS DE LAPICES.- Existen muchos tipos de lápices para usos especiales por ejemplo los lápices para carpintero de forma rectangular ó cuadrada, quienes debido a su forma facilitan las marcas con una guía y también previenen de que se vayan a rodar, otro lápiz especial de esta clase se usa para llenar los blancos en las contestaciones de una prueba que va a ser procesada por medio de maquinaria electrónica ya que éstas puntas conducen la electricidad se utilizan para imprimir en las escobillas de la máquina un impulso eléctrico, otros lápices especiales que marcan sobre vidrio pueden ser utilizados también en la pintura comercial, también existen los llamados lápices utilizados en cosmetología.



B) PROPIEDADES GENERALES DE LAS ARCILLAS

Dada la importancia de los materiales arcillosos, para la cerámica, agricultura, geología; así como también debido a su vasta aplicación en la industria, su estudio; se ha venido realizando desde épocas remotas.

El término de "arcilla", se designa de una manera general, a una roca, sin poderse precisar, dada la amplia variedad de materiales a los cuales se le aplica este término.

El término en general engloba el concepto de un material natural, terroso, de textura granulosa, que tiene la capacidad de volverse un material plástico al mezclarse con una cierta cantidad de agua.

Aquí se entiende por plasticidad, a la propiedad que presenta el material húmedo a deformarse si se le presiona.

El análisis químico de las arcillas, muestran que su composición consta de silicio, aluminio, y agua; frecuentemente con cantidades apreciables de fierro, álcalis y materiales alcalino térreos.

El término "arcilla" implica en muchos casos a una parte -- fraccionada de roca, cuyo tamaño es pequeño; considerandose en geología el grado de arcilla, como un material cuyo grano es más fino a -- cuatro micras.

Por otra parte, en la terminología utilizada por los investigadores de los suelos, éstos consideran dos micras, como el tamaño máximo de partícula que debe tener un material considerado arcilloso.

La arcilla contiene varios grados de material, por lo que se refiere al tamaño de partícula; así como también de la presencia -

de minerales no arcillosos.

En el análisis del tamaño de partícula, puede aceptarse el término genérico de arcilla, al material que reúna la propiedad, de poseer una mayor cantidad de material que plastifique al humedecerse.

Los factores que controlan las propiedades de los materiales arcillosos, ó las atribuciones que deben ser tomadas para considerar un material como arcilloso son:

1) La composición del material

Se hace referencia esencialmente a los componentes y su abundancia relativa en las arcillas, ya que en la mayoría de los casos un cierto tipo de arcilla, en pequeñas cantidades, puede ejercer una notable influencia en las propiedades del material, por ejem., pequeñas cantidades de smectita (75%) en una arcilla, modifica sus propiedades al compararse con otra que no tenga dicho compuesto.

2) Composición de minerales no arcillosos

También hay una influencia notable, en el porcentaje de compuestos no arcillosos en las arcillas comunes, por ejem. calcita, dolomita, mica en hojuelas, piritita, feldespatos etc.

Estos materiales tienden a concentrarse en un tamaño de partículas algo mayor de dos micras.

Para la identificación de éstos materiales, que por lo general no se ablandan, se utiliza el microscópio petrográfico; y en el caso de partículas extremadamente finas, las técnicas de determinación de rayos X, sin embargo; ninguno de éstos métodos permite determinaciones cuantitativas muy precisas.

En el caso de sílica muy fina, la precisión máxima por difracción de rayos X es de (72%) si la cantidad es pequeña.

3) Material orgánico

En los materiales arcillosos, suelen presentarse cantidades variadas de materia orgánica como son : trozos de madera, hojas, etc. las cuales se intercalan en la superficie de las partículas arcillosas, ó bien; en las capas del silicato.

El contenido de material orgánico en las arcillas es importante de considerar, dada la influencia de éstos en las propiedades del material.

Las fracciones más finas de los materiales arcillosos, presentan una amplia variedad en lo que respecta a cantidad de alúmina, sílica, álcalis y alcalino térreos.

Estos materiales varían tanto en su combinación química como en su cantidad.

Se tenía un concepto de que la "arcilla pura" estaba compuesta de kaolinita o de algo similar a este material, de acuerdo a este concepto, las arcillas se pueden considerar formadas en su mayor parte por kaolinita.

Sin embargo, para ciertos investigadores, consideran que el componente fundamental de toda arcilla es un complejo coloidal, el cual se considera estructurado por una mezcla de óxidos de silicio, aluminio y fierro.

Las investigaciones posteriores de Thugutt y Bradfield, han demostrado que los materiales arcillosos generalmente no contienen mezclas de óxidos, sino sales ácidas débiles ferro- alúmino- silíceas pero aún no se tiene un concepto totalmente definido de la estructura que presenta el complejo coloidal.

4) Iones intercambiables y sales solubles en materiales arcillosos

Algunos materiales arcillosos contienen sales solubles en a gua, las cuales se han de haber incrustado en la arcilla; ya sea por el movimiento de aguas subterráneas.

Las propiedades físicas de las arcillas dependen en alto -- grado de la naturaleza de los iones adsorbidos por los componentes -- del mineral arcilloso.

Esto implica por ejem. que el grado de plasticidad difiera en una arcilla que contenga sodio, a otra que contenga calcio.

Esta diferencia puede ser muy grande, pero depende de la ca pacidad de intercambio iónico de los minerales que constituyan la ar cilla.

5) Textura

El factor de textura se refiere esencialmente a la distribu ci ón de las partículas y su tamaño, forma, y orientación de las parti cl culas en el espacio, de las fuerzas de atracción que se ejercen entre partícula y partícula.

En general, los materiales arcillosos tienen una aplicación en una variedad de productos por ejem. cerámica, industria lapicera, industria del papel, hule, como catalizador, en agricultura e ingenie r ía.

CLASIFICACION Y NOMENCLATURA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS

Por lo que respecta a la nomenclatura y clasificación de -- los minerales arcillosos, actualmente hay diferencias de acuerdo a la clasificación y la designación de una nomenclatura.

Se ha sugerido varias clasificaciones pero la propuesta por la Sociedad de Mineralogía de la Gran Bretaña, dicha sociedad sugiere la división de los minerales arcillosos en dos partes, de acuerdo a - su estructura laminar, y a las estructuras en cadena.

Las estructuras laminares se dividen en familias 2:1 y de - 1:1 a los cuales se les aplica el nombre de trifórmicos y difórmicos.

A continuación se da una tabla de clasificación de los mine- rales arcillosos.

TABLA I

I.- Amorfos ----- Grupo alofano

II.- Cristalinos

A) Tipo de doble capa (estructuras laminadas compuestas de una uniee dad de sílica en forma de tetrahedro seguida de una capa de alúmina - octaédrica).

1.- Equidimensional

Grupo kaolínítico (kaolinita, nacrita etc.)

2.- Elongados

Grupo halosítico

B) Tipos de triple capa (estructuras laminadas compuestas por dos -- capas de sílica tetrahédrica), y una capa central de forma trioctaé- drica ó dioctaédrica).

1.- Reticulo expandido

a) Equidimensionales

Grupo montmorilonítico (montmorilonita, sauconita, vermiculita etc .)

b) Elongados

Grupo montmorilonítico (nontronita, sajonita, hectorita etc.)

2.- Reticulo no expandido

Grupo de la illita

c) Tipos de capa mixta regular

Grupo clorítico

d) Tipos de estructura en cadena. (Cadenas de sílica tetrahédrica uni da a grupos octaédricos de oxígeno é hidroxilos, que contienen átomos de aluminio y magnesio.)

Atapulgita

Sepiolita

Paligorskita

En la literatura, se encuentran reportadas otras clasificaciones de los minerales arcillosos como los propuestos por Frank Kome ne, Jasmund, Caillere y Henin, etc.

Estas tres últimas capas se dividen: la capa de silicatos - en 1:1, 2:1 y 2:1:1, con una división en estructuras dioctaédricas y trioctaédricas.

NOMENCLATURA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS

A) Alofano

El nombre de alofano fué aplicado por Stromeyer en 1816, dicho nombre deriva del griego que significa "aparecer" y "otra" en alusión al cambio que presentaba el mineral de un material vidriado a otro de aspecto terroso debido a la pérdida de agua. En general este material se consideró amorfo, hasta que se verificó por Ross y Ken como un material amorfo a la difracción de rayos X.

Este término es aplicable a todos los materiales amorfos -- sin importar su composición, presentes en los minerales arcillosos.

B) Kaolín

El nombre de kaolín es una corrupción de la palabra china "kauling" que significa "cerro alto".

Los minerales de este grupo son la kaolinita, la dickita y la nacrita (todas ellas $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la anauxita cuya fórmula aproximada es $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, y la haloisita-endelita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, respectivamente. Las constantes ópticas típicas de la kaolinita son : índices de refracción, alfa= 1.561, beta= 1.565, gama= 1.565; carácter óptico, negativo; ángulo axial, 2V, 10-57°; dispersión, $r > v$; X es casi perpendicular a (001); ángulo de extinción, 3.5°. La dickita tiene carácter óptico positivo; el ángulo de extinción de Y con a es aproximadamente 16°; los índices de refracción son 1.561, 1.563 y 1.567. Por consiguiente, la kaolinita y la dickita se distinguen ópticamente con gran facilidad cuando se presentan en cristales reconocibles. La nacrita no es muy abundante. La haloisita suele tener un grano sumamente fino, con un índice medio de -

refracción de aproximadamente 1.546. El índice de refracción de la en delita, según el líquido de inmersión usado, oscila entre 1.540 y -- 1.552.

Los estudios con rayos X han demostrado que los minerales - de kaolín tiene red cristalina de dos capas; esto es, una lámina de - silice tetrahédrica y una lámina de alúmina-gibbsita. Las células adyacentes están separadas aproximadamente 7.1 Å en el plano (001). El espaciamiento interplanar normal al crucero (001) es el criterio más importante en la diferenciación con rayos X para distinguir los diferentes grupos de minerales arcillosos . Dentro del grupo del kaolín se utilizan otras diferencias estructurales con rayos X para distinguir los minerales. La haloisita y la endelita se identifican inequívocamente por el efecto del glicol etilénico sobre sus imágenes de difracción con rayos X.

La tinción de los minerales del kaolín con materias colorantes produce pleocroísmo artificial variado, que puede ser suficientemente selectivo para el diagnóstico de las especies minerales. En el análisis térmico diferencial, la kaolinita muestra una fuerte aguja - endotérmica aproximadamente a 620°C. y un fuerte pico exotérmico a unos 980°C, que la diferencia muy bien de los otros minerales arcillosos. Las micrografías electrónicas muestran la kaolinita en láminas - pseudohexagonales, aproximadamente equidimensionales, y la haloisita - en cristales de forma de listones cuando hay suficiente resolución de las imágenes. La kaolinita y en un grado menos la haloisita, son los minerales más abundantes del grupo del kaolín y son los más usados -- por la industria. Por consiguiente, pocas veces se presentan problemas de diferenciación de minerales arcillosos del grupo del kaolín;

pero en caso necesario las referencias citadas dan procedimientos adecuados para identificar y distinguir las especies minerales. La capacidad para cambio de cationes de la kaolinita es pequeña, menos de -- 100 gramos de arcilla seca.

La kaolinita suele producirse por la hidrólisis del feldespato y de otros silicatos por la acción de las aguas hidrotermales al elevarse hacia la superficie, ó por la acción ordinaria de los agentes atmosféricos en la superficie. Grandes yacimientos de kaolinita -- relativamente pura tienen su origen en pegmatitas ricas en feldespatos, y otras se han formado secundariamente en lechos sedimentarios -- después del transporte. Se cree que las fracciones coloidales de los suelos geológicamente antiguos se han concentrado en pantanos muy antiguos y han sido lavados hasta convertirse en depósitos de arcilla -- kaolinitica. En la descomposición geológica actual por los agentes atmosféricos, la kaolinita se forma por la descomposición en medio oxidante y en condiciones ácidas, y en medio reductor cuando se eliminan las bases (calcio, magnesio, álcalis y hierro ferroso). La eliminación de las bases es el factor esencial para la formación del kaolín. Con eliminación más intensa de la sílice por lixiviación de la arcilla, queda un hidrato aluminoso y resulta la arcilla bauxítica. La kaolinita puede formarse también por la silicación de la gibbsita.

La haloisita se ha encontrado en los sitios en que ha dominado la descomposición por los agentes atmosféricos. Puede originarse en el mismo medio que la kaolinita y en algunos casos precede a ésta--

, en la cual se convierte por recristalización. Algunos indicios señalan la intervención de aguas con sulfato ácido en la formación de la haloisita. La diferencia entre la haloisita y la kaolinita es pequeña en su estructura tienen el mismo tipo de capas de silicato de aluminio, pero las capas están sobrepuestas de una manera menos ordenada - en la haloisita que en la kaolinita.

C) Anauxita

El término anauxita fue propuesto por Breihaupt en 1838, es te material parecido a la estructura de la kaolinita, cuya microfotografía se asemeja a la forma de un gusano.

Ross y Kerr propusieron que la anauxita se definiera como - un mineral con las mismas propiedades de la kaolinita, pero con mayor radio molecular de sílica-aluminio, frecuentemente acercándose a tres

D) Halosita

El término fue propuesto por Berthier en 1826 en honor a O-malios d'Halloy.

Ross y Kerr estudiaron este material, al que tipifican de - dos modos diferentes: uno usualmente blanco o de una ligera coloración porosa, y de apariencia al algodón y la otra densa, no porosa y de aspecto parecido a la porcelana.

Correns y Mchmel en 1935 hicieron la distinción de dos formas de haloisita; una de la misma composición química que la kaolinita y la otra una forma más hidratada, la cual difiere de la kaolinita por dos moléculas de agua.

E) Montmorillonita

Damour y Salvetat en 1847 designaron el nombre de montmorillonita a un mineral que se extraía de Montmorillon, Francia.

Este grupo comprende la montmorillonita, beidelita, nontro-

nita, hectorita, saponita y sauconita. En él se estudia también la roca conocida con el nombre de bentonita. En la tabla I se dan las fórmulas típicas, en las que figura primeramente el ión ó grupo que tiene coordinación octaédrica, luego el ión ó grupo que tiene coordinación tetraédrica y después el oxígeno y los hidroxilos. En cada fórmula se da (Na_{0.33}) como ión de cambio, que sigue al ión al que puede sustituir. Debe tenerse en cuenta que las fórmulas dadas aquí son típicas e ilustrativas y que las arcillas de este grupo varían mucho -- con respecto a las fórmulas y composiciones dadas. La fórmula de la sauconita es análoga a la de la saponita; el cinc divalente desempeña el mismo papel que el magnesio divalente. X denota la base de cambio.

TABLA I. Fórmulas de los minerales del grupo de la montmorillonita

Montmorillonita.....	(Al _{1.67} Mg _{0.33} (Na _{0.33}))Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Beidelita.....	Al _{2.17} {Al _{0.33} (Na _{0.33})Si _{3.17} } ₀ 10(OH) ₂
Nontronita.....	Fe ³⁺ _{2.00} {Al _{0.33} (Na _{0.33})Si _{3.67} } ₀ 10(OH) ₂
Hectorita.....	{Mg _{2.67} Li _{0.33} (Na _{0.33})}Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
Saponita.....	Mg _{3.00} {Al _{0.33} (Na _{0.33})Si _{3.67} } ₀ 10(OH) ₂
Sauconita.....	{Zn _{1.48} Mg _{0.14} Al _{0.74} Fe ³⁺ _{0.40} }(Al _{0.99} Si _{3.01}) ₀ 10(OH) ₂ X _{0.33}

En las fórmulas que anteceden se ha aminorado la posibilidad de que un elemento sustituya a otro, pero se han encontrado otras sustituciones. Probablemente ningún otro grupo de compuestos sea tan rico en posibilidades de sustitución isomorfa de elementos se ha estudiado con tanto detalle como las arcillas del grupo de la montmorillonita. En la tabla II se dan análisis típicos de minerales de montmorillonita.

La determinación de un grupo completo de constantes ópticas de los minerales de este grupo no suele ser posible, porque los cristales son demasiado pequeños. Sin embargo, evaporando suspensiones de las arcillas en una placa de cristal, se deposita una película pseudocristalina y pueden determinarse bien en ella los índices alfa y gama de la refracción. Las películas de arcilla deben mojarse con acetona para expulsar el aire y después se dejan reposar varias horas en el aceite de inmersión antes de medir los índices de refracción.

TABLA II. Análisis químico de los minerales de la montmorillonita

Componente	1	2	3	4	5	6
SiO ₂ %	51.14	47.28	43.51	55.86	42.99	34.46
Al ₂ O ₃	19.76	20.27	2.94	0.13	6.26	16.95
Fe ₂ O ₃	0.83	8.68	28.62	0.03	1.83	6.21
FeO	-	-	0.99	-	2.57	-
MnO	indicios	-	-	nada	0.11	-
ZnO	0.10	-	-	-	-	23.10
MgO	3.22	0.70	0.05	25.03	22.96	1.11
CaO	1.62	2.75	2.22	indicios	2.03	-
K ₂ O	0.11	indicios	-	0.10	indicios	0.49
Na ₂ O	0.04	0.97	-	2.68	1.04	-
Li ₂ O	-	-	-	1.05	-	-
TiO ₂	nada	-	-	nada	-	0.24
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-
F ₂ O ₅	-	-	-	5.96	-	-
H ₂ O eliminado a 150°C	14.81	19.72	14.05	9.90	13.65	6.72
H ₂ O eliminado a + temp	7.99	-	6.62	2.24	6.85	10.67
Total	99.75	100.37	100.02	102.98	100.29	99.95
				100.47	0-F	

1. Montmorillonita, Montmorillon, Francia
2. Beidelita, Beidell, Colo.
3. Nontronita, Woody, Calif.
4. Hectorita, Hector, Calif.
5. Saponita, mina Ahmeek, Mich.
6. Sauconita, Friedensville, Pa.

En la tabla III se dan medidas ópticas típicas. En la serie montmorillonita-nontronita, a medida que aumentaba el contenido de hierro férrico de 0 a 28%, se vió que el índice alfa variaba entre 1.532 y 1.590 y el índice gama entre 1.548 y 1.632. La cristalografía con rayos X muestra que las arcillas de la montmorillonita tiene red cristalina de tres capas, dos láminas de sílice tetraédrica con una capa de alúmina-gibbsita entre ellas. La distancia entre las células contiguas en (001) varía entre 10 Å y 21 Å. Se produce dilatación de la red cuando la arcilla se impregna de agua u otros líquidos determinados. De ordinario la montmorillonita secada al aire tiene un espaciamiento (001) de aproximadamente 15 Å. La montmorillonita se tiñe de azul claro con solución diluída de clorhidrato de benicidina, pero ésta tinción no es infalible para identificar la montmorillonita.

Las microfotografías electrónicas muestran que la hectorita y la nontronita se presentan en tablas largas y estrechas, mientras que las otras arcillas de montmorillonita aparecen más aproximadamente equidimensionales. Las curvas de análisis térmico diferencial para la montmorillonita muestran comúnmente tres picos endotérmicos y uno exotérmico, que caen, respectivamente, entre los límites 150-320°, 695-730°, 870-920° y 925-1050°C. Esos intervalos de temperatura son bastante más amplios de lo que sería de desear, pero es de esperar que a medida que se vaya comprendiendo mejor el efecto del tamaño de las partículas, de las bases cambiables y de la composición química, adquiera mayor precisión al análisis térmico diferencial, que es una técnica bastante nueva. La beidelita muestra picos-

endotérmicos en aproximadamente 200° y 575-590° y un pico exotérmico en 905-925°C. La diferenciación entre los miembros del grupo de la montmorillonita exige a menudo el análisis químico completo y cálculo de la fórmula.

La capacidad general de cambio de cationes en el grupo de la montmorillonita es el más elevado de los minerales arcillosos entre 80 y 90 meq. por 100 gramos de arcilla secada al aire, y proporciona un criterio para el diagnóstico del grupo. Evidentemente, la red cristalina está ligada débilmente. Además, la red de la montmorillonita se dilata entre las capas de silicato cuando la arcilla se empapa de agua y puede hincharse hasta alcanzar un volumen varias veces mayor que cuando está seca (por ejem., la bentonita). Los coloides del suelo con elevada capacidad para cambio de bases facilitan la transferencia de elementos nutritivos a las raicillas absorbentes

Los minerales del grupo de la montmorillonita se han formado por descomposición superficial de rocas por los agentes atmosféricos, por procesos hidrotermales a baja temperatura, por la alteración del polvo volcánico en capas estratificadas y por la acción de las aguas circulantes de origen desconocido a lo largo de fracturas y vetas; pueden formarse por síntesis artificial. El medio óptimo para la descomposición por los agentes atmosféricos es aquel en el que se encuentran en concentración bastante alta el calcio, el hierro ferroso y especialmente el magnesio. La proporción de potasio debe ser baja, ó quizá baja en relación con el magnesio, el calcio y el hierro ferroso. Suele haber materia orgánica, que ejerce una acción reductora. Cuando las bases no se eliminan fácilmente, predominan con-

diciones neutras o ligeramente alcalinas. El medio en que se forma la montmorillonita por meteorización contrasta con el que favorece la formación de la caolinita. Si se cambia el sistema montmorillonita en otro de oxidación, acaso de ligera acidez, ó por lo menos de modo que las bases sean fácilmente lixiviadas, se manifiesta cierta tendencia a formarse la kaolinita. Lo opuesto sucede raramente si es que sucede alguna vez.

La bentonita es una roca rica en montmorillonita, resultado de la alteración de cenizas volcánicas, por lo general de los tipos silíceos intermedios (latíticos). Comúnmente, restos de feldespa to, cuarzo y vidrio volcánico parcialmente inalterados ofrecen pruebas de cuál era la roca matriz. Casi todas las arcillas adsorbentes, las arcillas de blanqueo y muchas de las que se emplean como catalizadores son de la familia de la montmorillonita, pero también la atp pulgita tiene aquellas propiedades.

TABLA III. Propiedades ópticas de los minerales de la montmorillonita.

Mineral	Procedencia	Índice de refracción	Carácter óptico	Ángulo axial, 2V	Material
Beidelita	Beidell, Colo..	1.502 - 1.533	-	-	granos
Nontronita	Woody, Calif.	1.560 1.585 1.585	neg.	pequeño	granos
Hectorita	hector, Calif.	1.485 - 1.516	-	-	película
Saponita	Mina Ahmeek, Mich.	1.490 1.525 1.527	neg.	moderado	granos
Sauconita	Friedensville, Pa.	1.575 - 1.615	neg.	-	película

F) Saponita

Su nombre se derivó de sapo "jabón" y fué utilizado por -
Svanberg en 1840 y en 1842, publicó análisis químico de este mate--
rial el cual en esencia mostraba ser un silicato de magnesio hidra--
tado.

En 1931 Ross y Kerr identificaron la saponita como un ---
miembro del grupo montmorillonítico, con un alto contenido de óxido
de magnesio.

G) Vermiculita

Las vermiculitas han sido clasificadas con las micas y se
han tomado como productos en alteración, presente en los constituyes
yentes de los materiales arcillosos.

Las vermiculitas tienen retículos expandidos y su rayo de
composición no se conoce actualmente pero parecen contener cantida--
des apreciables de magnesio y fierro (ferrosos).

H) Illita

El término illita fué propuesto por Grim en 1937 aplicado
a los minerales arcillosos semejantes a la mica. Grim y Bradley die
ron una fórmula general para las illitas como $(OH)_4 K_y (Al_4 . Fe . Mg_4 . -$
 $Mg_6)_O_{20}$. En la moscovita $y=2$, mientras que para la illita "y" es me
nor a 2 variando desde 1 a 1.5. De acuerdo a la fórmula compuesta,-
las illitas son consideradas como un complejo de capa mixta.

I) Clorita

Wermer, utilizó el término clorita en 1800. Se ha usado -
para denominar a un grupo de silicatos hidratados en el cual el fie
rro ferroso predomina y se relaciona con las micas. Estructuralmen-
te los cloritos son interstratificados regulares de capas de bioti
ta (mica) y de brucita.

J) Atapulgita

El nombre de atapulgita fué aplicado por De Lapparent en 1935 a un mineral arcilloso encontrado en Attapulgos, Georgia, y -- en Mormoiron, Francia. Bradley proporcionó la fórmula de la atapulgita como $(\text{OH}_2)_4(\text{OH})_2\text{MgSiO}_{20}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DE LOS MINERALES ARCILLOSOS.

Las estructuras atómicas de los minerales arcillosos, se estudiaron por muchos investigadores quienes se basaron en los estudios sobre las generalizaciones de Pauling (1930), tomando las estructuras de las micas y los minerales relacionados con éstos.

Sin embargo, a la fecha; queda mucho por investigar, acerca de las estructuras que presentan los materiales arcillosos.

El hecho de que presente en pequeñas partículas, hace casi imposible su estudio como cristales individuales.

Generalmente la estructura atómica de los minerales arcillosos presentan dos unidades:

Una unidad consiste de dos capas empacadas por oxígenos ó hidroxilos en los cuales los átomos de Al, Fe, ó Mg, se encuentran en el centro, en coordinación octaédrica, de tal manera que son equidistantes de seis oxígenos ó hidroxilos en el caso en que haya aluminio, sólo $2/3$ de las posiciones posibles se llenan para balancear la estructura, y en este caso se presenta la estructura de la gibbsita cuya fórmula es $Al_2(OH)_6$.

Cuando se presenta el magnesio, todas las posiciones se llenan para balancear la estructura, este caso presenta la estructura de la brucita con fórmula $Mg_3(OH)_6$.

La distancia normal entre oxígeno y oxígeno es de 2.60 \AA , y la distancia entre hidroxilo e hidroxilo es de aprox. 3 \AA en esta unidad estructural.

De manera particular para ésta estructura se presenta ---

que la distancia OH-OH es de 2.94 Å y el espacio disponible para el átomo en la coordinación octaédrica es de 0.61 Å siendo el espesor de la unidad de 5.05 Å.

La segunda unidad se estructura a base de tetraédros de sílica. En cada tetrédro, un átomo de silicio se encuentra equidistante de los cuatro oxígenos ó hidroxilos necesarios para balancear la estructura dispuestos en forma tetraédrica con el átomo de silicio en el centro. Los grupos tetraédricos de sílica se arreglan para formar la capa cuya composición es $\text{Si}_4\text{O}_6(\text{OH})_4$.

Los tetraédros están arreglados de tal manera que los vértices de cada uno de ellos apuntan hacia la misma dirección, estando la base de todos los tetraédros en un mismo plano.

GRAFITO

El grafito natural, llamado también plumbagina ó lápiz de plomo, es una forma mineral de carbono grafitico, cristalizado en el sistema hexagonal. Su forma física depende de su génesis, y sus propiedades dependen de su forma natural y de los minerales con que está asociado. Su valor comercial depende de sus características específicas. Se halla muy diseminado en el globo y se presenta en forma de escamas, terrones ó agujas, ó de masas criptocristalinas (llamado comercialmente grafito amorfo).

El grafito es uno de los minerales más adaptables por razón de sus variadas propiedades. Es untoso, deja fácilmente huella, arde con lentitud, es casi químicamente inerte, flexible en gran intervalo de temperaturas y es buen conductor del calor y electricidad; es hidrófobo, tiene coeficiente negativo de temperatura para la resistividad, resiste bien la acción de la atmósfera, forma emulsiones del tipo de agua en aceite y es soluble en hierro. Ya se use el grafito sólo ó en combinación, se deben a éstas propiedades sus usos principales en lubricación, fabricación de artículos refractarios, lápices y puntillas, productos eléctricos y pinturas.

La clasificación más útil del grafito es la común en la industria, que se funda en su manera de formación, de lo que resultan tres variedades físicamente diferentes, llamadas; escama diseminada, de filón (llamada también grafito cristalino ó plumbagina) y amorfa. El término escama no necesita explicación. El grafito que se halla en filones (diques de pegmatita) se presenta en terrones,-

astillas y agujas. El llamado grafito amorfo se haya en yacimientos que en otro tiempo fueron de hulla. En general se deben aplicar con discreción las constantes físicas del grafito, por razón de que dependen de su forma física y de su contenido de carbono grafitico. Se pueden utilizar comúnmente estos datos; d. 2.1 a 2.5; dureza -- Mohs, 0.5 al 1.5; punto de sublimación, $> 3500^{\circ}\text{C}$.

Las escamas delgadas son opacas, pero los cortes sumamente delgados transmiten luz verdosa ó azulada. El grafito es fuertemente pleocroico y uniáxico; el signo de la birrefringencia es negativo. El índice de refracción del rayo ordinario es 2. En luz polarizada entre nicoles cruzados, el grafito es gris claro u oscuro - con dos extinciones por vuelta. Los cortes basales son isotrópicos. Tiene bajo coeficiente de absorción de rayos X y electrones en virtud de su reducido número atómico. El cristal de grafito está compuesto de hojas ó láminas paralelas de átomos de carbono, cada uno de los cuales es un sistema de anillos hexagonales planos condensados de C_6 . Cada átomo de carbono está unido a tres átomos de carbono continuos, dispuestos en ángulos de 120° en el plano de la lámina. La distancia entre carbono y carbono en los anillos es de 1.42 \AA , ~~en comparación~~ con la de 1.39 \AA en el benceno, y con la distancia normal entre carbono y carbono de 1.54 \AA . La distancia através del anillo es de 2.46 \AA . En cualquier estructura de enlace de valencia que se pueda sacar de la lámina de grafito, cada átomo de -- carbono tiene un enlace doble y dos enlaces sencillos. Sin embargo, la resonancia entre las varias estructuras de enlaces de valencia hace equivalentes los tres enlaces, de igual manera que la resonancia entre las dos estructuras Kekulé en el benceno hace que sean e-

quivalentes todos los enlaces de carbono a carbono. De resultados de la resonancia entre las varias estructuras posibles de enlace de valencia, los enlaces tienen $1/3$ de carácter de doble enlace y $2/3$ de carácter de ligadura sencilla. La notable diferencia entre las propiedades del diamante y las del grafito proviene de las siguientes diferencias estructurales; las capas en el grafito son paralelas y la distancia entre capa y capa es de 3.41 \AA . Los anillos de una capa no están situados directamente encima de los de la capa inmediata inferior, sino desviados lateralmente en un trecho de 1.42 \AA . La mitad de los átomos de carbono de una capa están sobre los átomos de la capa inferior; la otra mitad, sobre los centros de los anillos hexagonales. La repetición de esta desviación lateral hace que la tercera capa de anillos quede como en proyección ortogonal sobre la primera. En 20% del grafito no se observa estrictamente esta alteración, sino que puede haber alguna desviación lateral de las láminas paralelas al azar.

Por la gran distancia que hay entre las capas, es débil la aglutinación entre éstas. Las láminas del cristal se mantienen unidas por débiles fuerzas de Van der Waals y es fácil la exfoliación entre dichas capas. Esta es una de las razones del poder lubricante del grafito.

La gran distancia que hay entre capa y capa y la unión débil de éstas permiten la entrada de grupos tan grandes como el SO_4^{2-} , NO_3^- y ClO_4^- así como de átomos de oxígeno.

La mayor parte del carbono amorfo, cuando se hace su análisis con los rayos X presenta cierto grado de estructura cristali-

na, pero las propiedades del carbono amorfo son muy diferentes de las del grafito en estado de división fina. La densidad del carbono es de 1.8 y la del grafito 2.3. Hay una gran diferencia en el poder de lubricación. La resistencia eléctrica del carbono aumenta según aumenta la temperatura y en cambio la del grafito disminuye. Los países productores de grafito son: Canadá, Estados Unidos, Australia- etc.

Análisis de residuos grafiticos típicos de las principales procedencias:

Componente	Tipo			
	Ceilán 90%	Madagascar 86%	Corea 83%	México 82%
SiO ₂	57.50	46.26	52.05	50.85
Al ₂ O ₃	6.54	33.16	32.11	29.42
Fe ₂ O ₃	25.07	16.73	4.92	11.74
MgO	1.09	1.46	1.96	0.48
CaO (SrO)	4.63	0.22	1.64	0.73
Na ₂ O	0.41	0.08	0.68	0.60
K ₂ O	0.68	0.95	5.05	4.70
CO ₂	hay	nada	nada	nada
TiO ₂	0.41	0.80	1.58	1.27
P ₂ O ₅	0.09	0.17	0.06	0.06
SO ₃	0.41	indicios	-	indicios
F	0.05	-	nada	-
S (FeS ₂)	4.22	-	-	-
MnO	0.16	0.38	0.04	0.05
BaO	0.06	no se encontró	0.10	0.06

El grafito natural es un elemento pequeño, pero importante, de la economía nacional, ya que se conocen pocos sustitutivos de él y para algunas aplicaciones no tiene ningún sucedáneo. No menos de 600 minas nacionales de grafito han fracasado y apenas llegan a una veintena las que han logrado operar con buen éxito por períodos hasta de un año ó dos años en los Estados Unidos. Es una co-

sa notable en la explotación de minas de grafito el que tan pocas e
empresas hayan logrado recuperar el capital invertido, y que ningun
na haya prosperado notablemente.

Quizá con excepción de Rusia, no hay actualmente en pro -
greso ninguna exploración activa en busca de grafito como las hay,-
por ejem.; en busca de petróleo.

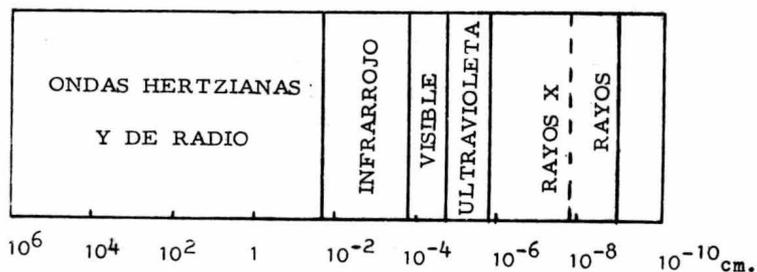
C) ANALISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

En 1895 el físico alemán Wilhelm Konrad Rontgen, descubrió -- que la pared de vidrio de un tubo de rayos catódicos, emitía rayos - invisibles además de la fluorescencia y como no estaba seguro de la naturaleza de los rayos los llamó rayos X, los cuales mostraron ser una forma de energía similar a los rayos de la luz y poseían un marcado poder de penetración.

Cuando los rayos catódicos encuentran un obstáculo, (anticátodo), con una velocidad superior a cierto límite, que depende de la muestra es decir de las sustancias que la forman, son capaces de generar las radiaciones que Rontgen llamó rayos X. Estos rayos X que no son desviados por el campo magnético, son comparables a las radiaciones luminosas ordinarias, pero de longitud de onda más pequeña.

Las radiaciones del espectro visible oscilan entre 7600 y 3800 Å y las de los rayos X varían entre 100 y 0.1 Å.

La posición de los rayos X en el espectro de radiación electromagnética, se pueden ver en la figura.



Donde las diferentes formas de radiación están arregladas en orden decreciente de longitud de onda.

Debe observarse que en el centro de la gama de los rayos X, la longitud de onda es de aproximadamente 10^{-8} cm, ó sea 1 Å, una distancia que es del mismo orden de magnitud que los diámetros moleculares de los gases y que las distancias interatómicas estimadas en un sólido.

La medida de tales longitudes de onda se hace con mucha precisión, por lo que, además de la unidad de medida 1 Å = 10^{-8} cm, se usa también la unidad X: 1 X = 10^{-11} cm = 0.001 Å.

Los rayos X han tenido gran cantidad de usos, tanto en la industria como en la medicina. Se encontró que era un medio de tomar fotografías de los huesos através de la piel, una técnica muy difundida en cirugía. Cuando los rayos X pasan através del cuerpo, los huesos proyectan una sombra, pero la piel es prácticamente transparente.

También las longitudes de enlace pueden determinarse por difracción de rayos X. Se dirige hacia la sustancia un haz de rayos X, que es descompuesto en varias partes; una pasa sin desviación através de la muestra y otras emergen con ángulos ligeramente distintos. Estos ángulos de dispersión, medidos por las imágenes de los haces sobre una placa fotográfica, y combinados con la longitud de onda de los rayos X, permite el cálculo de la estructura de la molécula.

Esquema de difracción de rayos X.



El haz rayos X por ser un campo electromagnético alternante, desplaza cada electrón en el interior de la muestra primero en una dirección y después en la opuesta, el ángulo recto a la dirección de propagación del haz. Puesto que una partícula acelerada da lugar a una variación del campo magnético, cada electrón actúa como una fuente de rayos X sincronizado con el haz incidente.

Por otra parte Laue en 1912 sugirió que la supuesta distribución regular de los átomos en un cristal, podría hacer que el cristal actuara como un enrejado de difracción para los rayos X.

Una placa fotográfica colocada perpendicularmente al paso de los rayos y detrás del cristal, muestra al ser revelada una mancha central debida a la acción de los rayos primarios y una serie de manchas simétricamente agrupadas debidas a los rayos difractados.

La predicción de Laue fué verificada experimentalmente al año siguiente por Friedrich Knipping, quienes obtuvieron numerosas placas, mostrando una variedad de modelos geométricos correspondientes a las distintas estructuras de los cristales examinados.

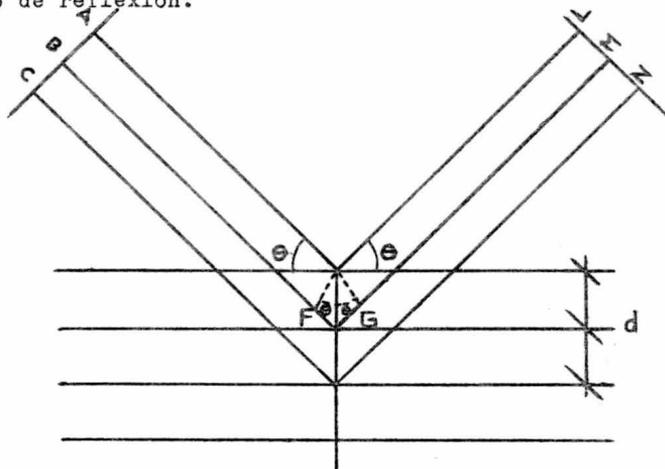
El método de reflexión ó de Bragg, en el análisis con rayos X, da resultados que son más fáciles de interpretar que los obtenidos con el método de transmisión ó de Laue.

Bragg demostró que la difracción de los rayos X por los elementos de un cristal pueden interpretarse simplemente, empleando el cristal como red de reflexión. La reflexión de los rayos X por la cara de un cristal, puede ser comparada con la de un haz de luz por una pila de placas de vidrio de igual espesor.

Se sabe que la luz monocromática será reflejada por una pi

la de placas solamente en determinados ángulos, los valores de los--
 cuales dependen tanto de la longitud de onda de la luz incidente co-
 mo del espesor de la lámina. Los planos de los átomos ó iones en el
 interior del cristal, corresponden a las láminas de vidrio.

Existe una relación simple entre la longitud de onda de --
 los rayos X, la distancia entre los planos atómicos del cristal y el
 ángulo de reflexión.



La figura nos muestra la sección transversal de un cristal
 en el cual las líneas horizontales representan una serie de planos g
 idénticos de átomos ó iones, separados por la distancia d .

El plano A B C, está trazado perpendicularmente al de inci-
 dencia del haz de rayos X paralelos y monocromáticos, y el plano L M
 N, es perpendicular al rayo reflejado. El haz incidente se dispone
 de manera tal que incida sobre la superficie del cristal bajo un án-
 gulo como θ , a fin de que toda la luz esté en fase a los dos planos-
 A B C, L M N, es decir que la distancia entre los dos a lo largo de-

un rayo sea un múltiplo entero de la longitud de onda λ .

Puede demostrarse que el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Las líneas R F, y R G, son perpendiculares al haz y puede observarse que el rayo B S M recorre mayor distancia que el rayo A R L en un valor igual a $FS + SG$; ésta distancia suplementaria es igual a un número entero n de longitudes de onda, puesto que el ángulo θ es tal, que la luz en L M está en fase con la luz en A B. Entonces:

$$FS + SG = n\lambda$$

además como:

$$d \sin \theta = FS/d = SG/d$$

por lo que:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Esta ecuación nos da la relación existente entre la distancia de los planos atómicos ó iónicos en un cristal y el ángulo para el cual la radiación reflejada tiene su máximo de intensidad.

Se pueden efectuar cálculos similares para la reflexión sobre otros planos del cristal más profundos.

Si los rayos inciden sobre el cristal en ángulos distintos de θ , la distancia complementaria $FS + SG$ será tal que dará fracciones de longitud de onda y habrá interferencia entre la luz reflejada por los distintos planos del cristal, lo que ocasionará una disminución en la intensidad de la luz reflejada.

La reflexión correspondiente a $n=1$ es llamada reflexión de primer orden, la reflexión $n=2$ de segundo orden y así sucesivamente. Cada orden siguiente presenta un ángulo mayor y una disminución en la intensidad.

El máximo se obtiene girando el cristal a fin de cambiar-- el ángulo θ de incidencia del haz de rayos X sobre la superficie. Si los rayos X inciden sobre la cara de un cristal para el que d es des conocido, el valor λ para la radiación utilizada puede determinarse midiendo los ángulos en que se obtiene el ángulo máximo de intensidad en la reflexión. Por otra parte, si la longitud de onda de la radiación incidente es conocida, es posible determinar el espacio entre los planos atómicos de los átomos ó iones en el interior del -- cristal.

La estructura de un cristal puede determinarse mediante mediciones de rayos X; también es posible obtener los valores absolutos de longitud de onda, empleando un cristal simple tal como el -- NaCl, del cual se puede deducir sus distancias intermoleculares. En efecto en la célula cúbica elemental del cloruro de sodio, hay un -- ión cloro en cada esquina y también un ión cloro en el centro de cada cara; como cada uno de los iones de las esquinas es común a ocho células cúbicas similares adyacentes, sólo un octavo de su masa puede considerarse como perteneciente a cada uno de los ocho cubos; de la misma manera, cada ión del centro de la cara, es común a dos cubos adyacentes, es decir contribuye sólo con la mitad de su masa para cada uno de los cubos; por consiguiente, los ocho iones de las esquinas contribuyen a la masa de un ión y los seis iones centrales a la masa de tres iones de una célula cúbica elemental. En otras palabras, la masa total de cloro asociado a una célula cúbica elemental, es igual a la masa de sólo cuatro iones de cloro.

Procediendo de la misma manera se verá que la masa de cua-

tro iones de sodio, está también asociada a una célula cúbica elemental y cada cubo puede considerarse como teniendo una masa igual a la de cuatro moléculas de cloruro de sodio.

Como el volumen de una molécula gramo de cloruro de sodio es de 27 ml resulta que el volumen de cuatro moléculas ó el volumen de una célula cúbica elemental es:

$$4 \times 27 / 6.02 \times 10^{23} = 179 \times 10^{-24} \text{ ml.}$$

donde 6.02×10^{23} es el número de Avogadro, es decir el número efectivo de moléculas en un mol-gramo de cloruro de sodio.

La longitud de la arista del cubo es 5.64×10^{-8} cm. Sacando la raíz cúbica de 179×10^{-24} , la distancia entre los planos paralelos a la cara (1,0,0), d_{100} , será la mitad de dicho número ó sea 2.82×10^{-8} cm.

Habiendo determinado el valor d_{100} y encontrando previamente que $d_{100} = 4.85 \lambda$ para los rayos X provenientes de un anticátodo de paladio, se calcula fácilmente que:

$$\lambda = 2.82 \times 10^{-8} / 4.85 = 0.58 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

Por consiguiente es posible determinar la longitud de onda de los rayos X por medio de un cristal de estructura conocida, procediendo en forma análoga a la determinación de la longitud de onda de la luz mediante una red de difracción.

Una vez conocida la longitud de onda de los rayos X, puede determinarse la distancia interplanar de otros cristales, por simple aplicación de la fórmula:

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

Con el método de Bragg se utiliza una cámara de ionización-

móvil para determinar la posición e intensidad de la reflexión máxima; a veces una tira de película fotográfica sustituye la cámara de ionización; en dicho caso, es necesario hacer girar el cristal mediante un mecanismo, así se está seguro que los planos de la red cristalina se hayan en el ángulo conveniente durante parte del tiempo, para poder registrar el máximo de las reflexiones.

En lugar de hacer girar un cristal grande, pueden obtenerse los mismos resultados utilizando muchos cristales pequeños orientados en todas direcciones. Este método fué diseñado casi similarmente por A. W. Hull, por Debye y Scherer.

Un pequeño haz de rayos X, monocromático, paralelos, se hace pasar através de una sustancia cristalina finamente dividida y se produce el espectro característico, constituido por líneas finas sobre una película adecuadamente dispuesta. Dichas líneas corresponden a las reflexiones de las distintas caras de las pequeñas partículas cristalinas de la sustancia pulverizada.

Este método es mucho más simple y más rápido que el método de reflexión; además, en lugar de un cristal bien constituido y de un tamaño apreciable, sólo se requiere una muy pequeña cantidad de polvo cristalino; Hull encontró que la cantidad de material necesario para una determinación completa de estructura cristalina, no es mayor de 1 mm^3 .

Si el polvo en exámen está constituido por un gran número de diminutos cristales cúbicos orientados en todas las direcciones posibles, algunos de los cristales estarán colocados de modo que reflejan rayos de sus planos (1,0,0), otros de sus planos (1,1,0), y otros de sus planos (1,1,1), pero en cada caso, la reflexión se forma

rá en un ángulo definido y dará origen a una serie de líneas en una película correspondientes a las reflexiones máximas para cada grupo de planos.

Sóloamente aquellos cristales cuyas caras se hayan en el -- ángulo adecuado, producen la reflexión de rayos X, los cristales res tantes dan origen a interferencia de la luz reflejada por las distin tas capas, razón por la cual habrá varios grupos de líneas, depen -- diendo cada una del tipo de reflexión.

El espaciado e intensidad de éstas líneas son característi cas de una sustancia dada. Una fotografía mediante rayos X de una -- mezcla de polvos cristalinos, produce un grupo de líneas a partir de las cuales es posible determinar la composición de la mezcla por com paración con fotografías similares obtenidas con las sales puras. Aún más, estudiando las intensidades relativas de las líneas, es --- también posible estimar, aproximadamente, la proporción de cada sal -- presente en la muestra.

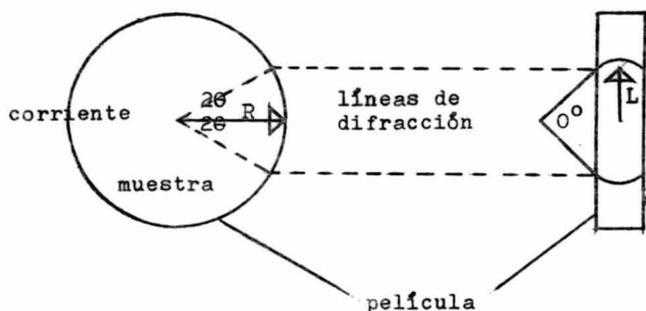
Los cristales que poseen sóloamente un pequeño grado de si -- metría son difíciles de interpretar mediante los rayos X, debido a -- que los cristales están escasamente formados y los planos mal defini dos.

En el exámen de compuestos orgánicos y cristales que con -- tienen elementos livianos, es preferible utilizar rayos X "blandos", producidos por un anticátodo de cobre u otro material liviano, ya -- que los producidos por metales pesados son muy penetrantes.

El método del polvo ha sido aplicado al análisis de mez -- clas de sales; por ejem., el análisis químico puede revelar la pre -- sencia de Na, K, Cl, y Br, en una mezcla dada y es necesario saber -

si hay NaCl y KBr, ó KCl y NaBr, ó si las cuatro sales se hayan presentes en la mezcla. A pesar de que ésto no se puede contestar por medio de los análisis químicos corrientes, se ha demostrado que por medio de los rayos X éste problema puede ser resuelto fácilmente. Los metales poseen redes cristalinas simples y son dúctiles, mientras que las redes de los no-metales son más complejas y el material es menos dúctil.

En el caso de que varias especies de minerales se encuentren presentes en la mezcla de polvo, cada especie diferente registrará independientemente su propia máxima difracción. Los rayos difractados de la mezcla de polvo pueden ser registrados en una película fotográfica ó placa geométricamente colocada en relación con la muestra y permite la determinación del ángulo de difracción para cada máximo y el subsecuente cálculo del espacio interatómico.



Una película patrón registra el cono de difracción, que intercepta el ángulo θ de los planos de la difracción del cristal (2θ como medida del rayo primario).

La geometría del sistema de la cámara cilíndrica, requiere que esté relacionado al radio de la cámara R, y la distancia entre la posición del rayo primario y la posición de cada línea L, es medida sobre la película en una posición plana por medio de la ecuación:

$$L/2R = 2 \theta / 360^\circ$$

Conociendo el radio de la cámara y el valor medido de L en cm, se pueden calcular rápidamente el ángulo θ para cada línea de difracción.

Después de determinar el ángulo θ ó más comúnmente 2θ para cada línea de difracción sobre la gráfica ó sobre la película patrón puede ser calculada a partir de la ecuación de Bragg.

La eficiencia de difracción de una muestra de mineral simple depende principalmente de la longitud de onda de la radiación usada, y de la naturaleza física y química de la muestra. La selección de la longitud de onda de la radiación adecuada y el cuidado de la preparación de la muestra son factores que deben ser considerados para asegurar el máximo de intensidad y calidad en la difracción que puede abstenerse en un análisis en particular.

1) PRODUCCION DE RAYOS X

En la naturaleza se producen espontáneamente rayos X en los depósitos de sustancias radioactivas de la corteza terrestre; esta emisión de rayos X, que tiene muy escasa magnitud, es un fenómeno secundario provocado por la liberación de partículas α , β , δ de radiación γ , en el proceso de desintegración de las sustancias radioactivas.

El procedimiento más usual y práctico para producir rayos X, está basado en el hecho de que cuando una partícula, con masa muy pequeña se acelera fuertemente, de manera que posea una considerable energía cinética y se hace incidir sobre un material (un metal, por lo general), parte de dicha energía se invierte en la producción de rayos X, merced a la perturbación que el impacto produce en el estado energético de los átomos de dicho material.

Las partículas que comúnmente se utilizan para producir el bombardeo del material emisor son los electrones, recibiendo el nombre de tubo de rayos X el dispositivo experimental correspondiente. Según que los electrones sean emitidos por efecto térmico en un filamento incandescente, δ por efecto del choque de iones positivos gaseosos contra una superficie metálica, los tubos de rayos X se clasifican en tubos de cátodo incandescente δ de Coolidge y tubos de gas. Estos últimos están casi completamente en desuso actualmente.

Las partículas α y los protones también pueden ser empleados como proyectiles para excitar la radiación X, especialmente el espectro de longitudes de onda largas.

Finalmente, la propia radiación X emitida por un tubo, pue de excitar rayos X en cualquier material cuando posee energía suficiente, la cual lógicamente , es superior a la de la radiación excitada.)

La radiación que se obtiene mediante este mecanismo de -- transferencia de energía, se denomina radiación de fluorescencia, la cual ofrece un interés particular y creciente en análisis, por ser el fenómeno básico de la espectrometría de fluorescencia de rayos X. Es obvio poner de manifiesto, que el espectro electrónico, es idéntico cualitativamente al espectro excitado por fluorescencia. La única diferencia entre ambos procesos de producción de rayos X, radica en el método empleado para suministrar la energía de excitación a los átomos, electrones en un caso y fotones en el otro.

2) TUBOS DE CATODO INCANDESCENTE

Los tubos de cátodo incandescente están constituidos por una ampolla de vidrio, en la que se ha hecho un vacío elevado y que contiene un filamento, que hace de cátodo y un ánodo metálico enfrentado al mismo. Si entre el filamento y el ánodo, llamado placa ó anticátodo, se aplica una diferencia de potencial de varios miles de voltios, los electrones emitidos por el filamento incandescente son fuertemente acelerados hacia el ánodo, produciendo, en el choque, la emisión de rayos X del mismo. Los rayos X son emitidos en todas las direcciones, saliendo al exterior del tubo, através de una ó más venanas, constituidas por un material muy transparente a la radiación. En las direcciones distintas a las de las ventanas, los rayos X son absorbidos por la envoltura exterior del tubo, generalmente de plomo.

El filamento del tubo de rayos X es una espiral de wolframio suficientemente resistente para soportar la fuerte atracción ejercida por el ánodo, debida a la diferencia de potencial aplicada entre ambos. Está rodeado por una pantalla metálica, llamada focalizador, abierta sólo en la dirección de salida de los electrones hacia el ánodo y mantenida a potencial negativo, con objeto de repeler los electrones que van en otras direcciones y dirigirlos hacia el mismo. Los electrones inciden en una pequeña superficie del ánodo llamada huella focal.

Para los gradientes de potencial habituales, en casi todas las aplicaciones de los tubos de rayos X, la corriente del tubo ó intensidad del flujo de electrones, i , depende solamente de la temperatura del filamento, según la ecuación.

$$i = A T^2 e^{-B/T} \dots\dots\dots (1)$$

donde T es la temperatura absoluta y A y B unas constantes típicas - del metal del filamento; en el caso de wolframio $A = 1,8 \cdot 10^{11}$ y $B = 5,2 \cdot 10^4$. El filamento se pone incandescente mediante una corriente de algunos amperios suministrada por un pequeño transformador. La ecuación (1) determina la magnitud de la corriente de saturación del tubo de rayos X.

La mayor parte de la energía de los electrones se invierte en la producción de calor en el ánodo y sólo una pequeña proporción de la misma, menos del 1%, se invierte en la producción de energía radiante. El rendimiento de un tubo de rayos X ó relación entre la energía de la radiación emitida y la de los electrones bombardeantes, viene dada por la fórmula aproximada:

$$\epsilon = 1,5 \times 10^{-9} ZV \dots\dots\dots (2)$$

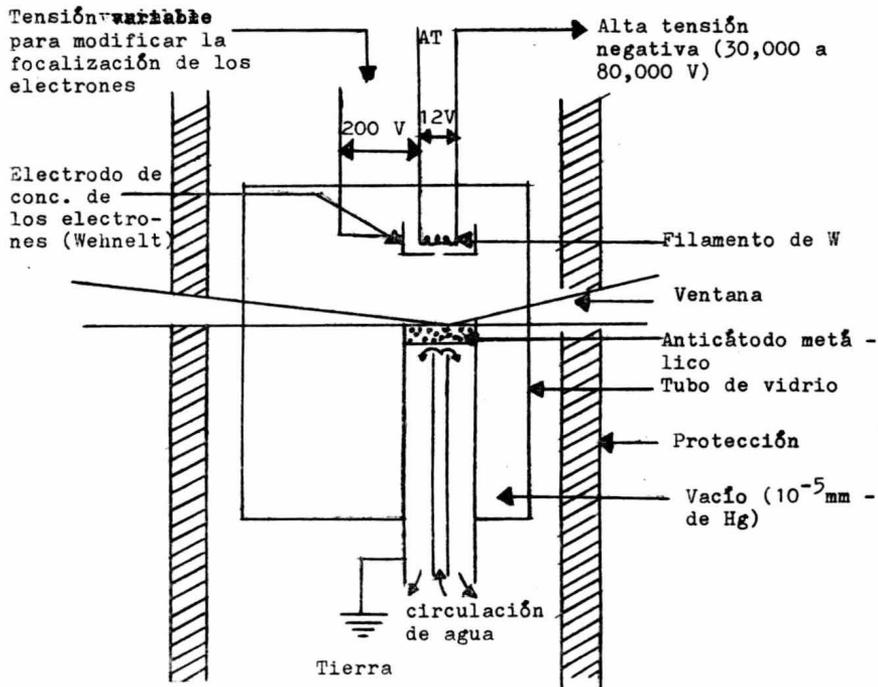
donde Z es el número atómico del elemento que constituye el anticátodo. Puede calcularse, por ejem., que para un tubo con anticátodo de platino ($Z=78$) trabajando a 50 kV, el rendimiento es menor del 0.6 %. Casi toda la potencia aplicada al tubo, dada por el producto iV , se invierte en la producción de calor.

La considerable potencia que ha de disipar el ánodo del tubo de rayos X sería suficiente para fundirlo en muy corto tiempo, aún estando constituido por un elemento de elevado punto de fusión, - tal como wolframio ó platino; el calor, por otra parte, está principalmente localizado en la pequeña superficie del mismo que constituye la huella focal.

La refrigeración intensa del ánodo del tubo de rayos X es condición indispensable para que éste pueda funcionar de forma continua durante cualquier intervalo de tiempo. El punto de fusión del ma

terial anódico y su calor específico deben ser lo más elevados posible. Aparte de éstos requerimientos, la naturaleza del anticátodo en las múltiples aplicaciones de los rayos X viene también impuesta por otras diversas razones que afectan la calidad de la radiación emitida.

En los tubos empleados en difracción y espectroscopia de rayos X, la refrigeración se realiza comúnmente mediante una circulación forzada de agua. Una característica de todos los tubos de rayos X es el valor nominal del flujo de agua de refrigeración calculado en base a la máxima potencia que se les puede aplicar, según sus características eléctricas, estructurales y tipo de ánodo.



Sección de un tubo incandescente de rayos X.

3) ESPECTRO DE RAYOS X

Si se analiza el espectro de radiaciones emitidas por un tubo de rayos X cuando se le aplican distintas tensiones de trabajo se observa que, inicialmente, por debajo de un determinado valor de la tensión, está constituido por radiaciones de distintas longitudes de onda que se extienden en un amplio intervalo espectral sin ninguna discontinuidad. Este espectro se denomina continuo, heterocromático o blanco.

Conforme se va aumentando la tensión, aumenta la intensidad del espectro continuo y la curva espectral se desplaza hacia la zona de longitudes de onda más cortas del mismo o máxima frecuencia de la radiación. Esta longitud de onda, llamada longitud de onda límite, sólo depende del valor de la tensión aplicada, siendo independiente de la clase de material anódico, como se muestra en la ecuación (2) para las curvas espectrales del molibdeno y del wolframio obtenidas a 30 kV.

Cuando para un determinado ánodo, la tensión aplicada al tubo de rayos X adquiere un cierto valor característico de cada material, aparece superpuestos al espectro continuo unos máximos de intensidad muy agudos, cuya propiedad más singular es la de presentarse siempre a valores perfectamente fijos y determinados de la longitud de onda para un mismo elemento en el ánodo del tubo de rayos X, razón por la cual estos máximos reciben el nombre de líneas características, y el conjunto de ellas espectro característico del

elemento. El valor del potencial aplicado, al cual aparecen las líneas características, tienen una gran importancia y significación física, recibiendo el nombre de potencial crítico de excitación. En el caso de molibdeno, las líneas características representadas en la figura 3 aparecen cuando se sobrepasan los 20 kV; en el wolframio las líneas características correspondientes no se emiten hasta que no se ha sobrepasado el potencial de 69 kV.

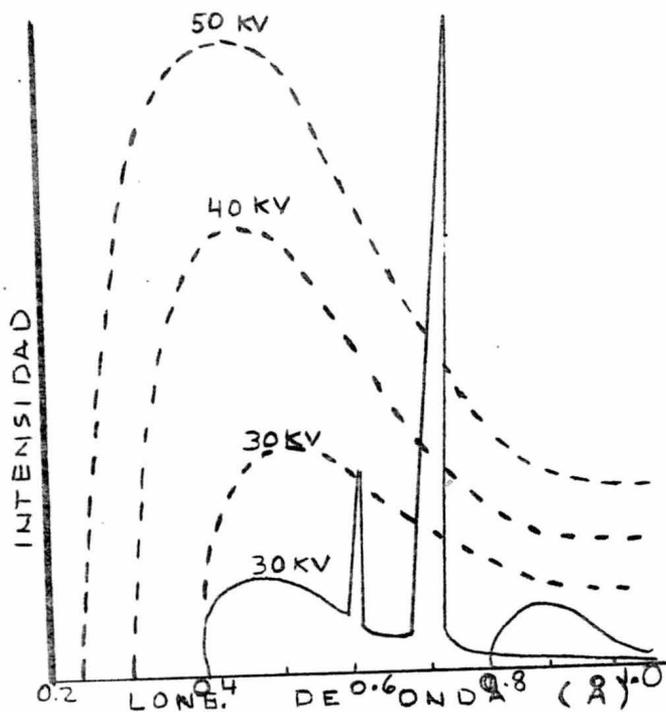


Fig.3.- Distribución espectral de las radiaciones emitidas por tubos de rayos X con ánodos de wolframio (línea discontinua) y de molibdeno (línea continua), a diferentes tensiones de trabajo.

4) DESCRIPCION DEL DIFRACTOMETRO

En los últimos 20 años se han desarrollado paralelamente-- a las técnicas fotográficas (del tipo Debye-Scherrer), los aparatos-- utilizando como detectores, los contadores (sea del tipo Geiger Mu - ller, sea del tipo de centelleo). Ambos métodos tienen el mismo prin- cipio, aunque los detectores permiten medidas de intensidad mucho -- más precisas.

Un equipo de difracción de rayos X consta principalmente - de:

- 1.- Un generador de alto voltaje.
- 2.- Una fuente de rayos X.
- 3.- Un sistema de medición y registro.

Generador de alto voltaje:

El generador de alto voltaje puede suministrar a un tubo-- de rayos X una corriente estabilizada superior a 60 kV, 80 mA y 3000 W.

Para difracción y difractometría puede montarse un tubo de rayos X en un tubo blindado que puede colocarse horizontalmente ó -- verticalmente, con ayuda de un soporte, en la cubierta superior del- generador.

El tubo blindado está provisto de cuatro obturadores que-- pueden ser controlados manual ó automáticamente por una unidad de -- control incluida en el equipo.

El contacto de alta tensión puede colocarse dentro del ga- binete, dando así oportunidad de conectarlo a un segundo tubo de ra-

yos X. En este caso será necesario un segundo circuito de agua.

Sistema de detección y registro:

El equipo necesario para la detección es el que sigue;

- 1.- Multímetro
- 2.- Voltímetro electrónico
- 3.- Transformador variable
- 4.- Osciloscópio

El detector está montado en el brazo del goniómetro, el cual va girando junto con el registrador para señalar los ángulos de detección de máximos difractados.

D) ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL Y GRAVIMETRICO

Existe no solamente un método de diagnóstico como las técnicas por difracción de rayos X, sino que también los métodos térmicos en los que se encuentran una aplicación bastante considerable en los campos de la mineralogía de las arcillas, hay muchas razones para aplicar esto, la principal probablemente sea la que del grupo mineral conocido como arcillas consiste de minerales secundarios que están formados de diferentes grupos hidroxílicos los cuales son liberados por medio de una energía absorbida y perdida en peso a una temperatura moderada, muchos de éstos minerales también tienen transformaciones en los vértices de las formaciones reticulares abajo de los 100°C y es por esto que también reflejan cambios energéticos, antes de proceder al análisis de este método se definirán varios tipos de curvas las cuales se encuentran frecuentemente en las investigaciones térmicas.

1.- CURVAS DE CALENTAMIENTO

Son las curvas de temperatura contra tiempo para la mezcla calentada en un ambiente de temperatura aumentada uniformemente.

2.- CURVAS TERMICAS DIFERENCIALES

Son curvas para la diferencia de temperaturas entre la mezcla y el material térmicamente inerte ΔT , es decir se grafica ΔT contra el tiempo t a la temperatura T , las dos muestras se calientan en un ambiente de temperatura uniformemente aumentada, por tanto no son curvas estrictamente diferenciales sino solamente que muestran en curvas de diferenciación térmica.

3.- CURVAS TERMOGRAVIMÉTRICAS

Son curvas de peso contra tiempo para el material calentado en un ambiente de temperatura uniformemente aumentado. Las curvas termo-gravimétricas diferenciales se obtienen a partir de las curvas termogravimétricas gráficas en contra la diferencia en peso por unidad de tiempo y por temperatura, éstas suelen llamarse de hecho las verdaderas curvas diferenciales.

Las curvas de calentamiento no son en general tan útiles como los otros dos tipos de curvas ya que los cambios energéticos pequeños pueden fácilmente perderse por tanto el fundamento de este tema tratará sobre las curvas termogravimétricas diferenciales y las curvas térmicas diferenciales. Es importante notar en este punto que las curvas térmicas diferenciales muestran todos los cambios que ocurren en la muestra así como también los cambios asociados con la evolución ó absorción de energía mientras que en las curvas termogravimétricas diferenciales sólo muestran las reacciones asociadas con la pérdida ó ganancia en peso de la muestra, en comparación por ejemplo de una curva térmica diferencial y una curva termogravimétrica para la misma mezcla pueden inmediatamente demostrar los cambios energéticos que se deben a la pérdida ó ganancia de material y en los cuales se deben a rearrreglos de los retículos ó a otros factores.

Una curva de análisis térmico diferencial se representa diagramáticamente como la figura 1. Cuando no ocurre ninguna reacción en la especie de ésta curva toma la forma de una línea recta ó sea representada por la línea A B, pero tan pronto como la reacción comienza la curva parte de ésta línea basal através de B C alcanzando un máximo pico C y entonces regresa a su línea O D. El punto B --

donde la curva parte de ésta línea base representa el comienzo de -- la reacción y el punto C representa el punto por el cual la velocidad de flujo de calor que entra en la mezcla es igual a la cantidad absorbida por la reacción, el punto D no representa el final de la reacción la cual de hecho ocurre en algún punto intermedio X através de la línea C D. La máxima velocidad de reacción ocurre en el punto -- cuya pendiente es máxima o sea E através de la línea D D, es claro -- por tanto que sólo los puntos característicos del pico con una signi -- ficación estrictamente física sea B, sin embargo es usualmente bas -- tante difícil de determinar debido a que la curva parte gradualmente desde la línea basal y en las investigaciones por métodos térmicos -- diferenciales es muy común denominar a éste temperatura el punto C -- que es practicamente el término de temperatura de pico, esto se po -- drá apreciar debido a su definición ya que puede variar dependiendo de diferentes condiciones externas tales como la velocidad de calen -- tamiento, el tamaño de la muestra etc. El área encerrada por la cur -- va B E C X D F es generalmente una área que termina en pico, la altu -- ra C F se denomina la amplitud ó altura de pico y la longitud B D es el ancho del pico. El ángulo formado por B C D se conoce como ángulo de pico. Otros parámetros serán definidos en éste punto como por e -- jemplo, el radio pendiente que es la medida de asimetría del pico és -- te radio pendiente es la tangente de $\alpha / \tan \beta$, donde α y β tienen el significado mostrado en la figura 1. Las características de un pi -- co sobre las curvas termogravimétricas diferenciales son algo dife -- rentes através de la línea base no hay cambio en el peso del mate -- rial, pero el material comienza a descomponerse en el punto B donde --

la curva parte de la línea base en éste ejemplo sin embargo el punto C ó sea el punto pico de temperatura representa el punto de velocidad máxima y el punto D donde la curva regresa a su línea base el final de la reacción por tanto debe de recordarse que éstos puntos B C y D en la curva termogravimétrica diferencial tienen una significación precisa físicamente hablando y que la temperatura de pico siempre representa el punto de velocidad máxima, el área del pico aquí - representa la pérdida de peso bajo el período del pico.

APARATOS PARA LOS METODOS TERMICO DIFERENCIALES

De acuerdo con esto existen varios aparatos ya sea de construcción doméstica ó comercial que incorpora una serie de partes de acuerdo con el fin de obtener la información adecuada, las unidades mínimas para funcionar requeridas en cualquier aparato son las siguientes:

- 1.- La fuente de calor
- 2.- Un sistema de control de temperatura
- 3.- El contensor de la muestra, un aparato registrador y un aparato-medidor de temperatura.

Por lo que respecta a la fuente de calor usualmente se utiliza un horno de resistencias eléctricas pero también se han utilizado baños líquidos y otros arreglos para éste fin, algunos tipos de hornos eléctricos se han utilizado pero el más común es el tipo de tubo convencional arreglado ya sea horizontalmente ó verticalmente - quizás la disposición vertical asegure una distribución de temperatura más homogénea pero tienen diferentes desventajas ya que si la mezcla se llega a derretir fluiría hacia abajo hacia los tubos que contienen los termopares y entonces puede haber un bloqueo ó se puede -

descalibrar el aparato. Otro tipo de hornos disponibles son el tipo de tubo y de elementos de barras longitudinales internas, el tipo de tubo está dispuesto longitudinalmente con elementos enrollados, tam bien existen de elementos ranurados verticalmente.

Para los tubos convencionales las temperaturas usadas son superiores a los 1000°C generalmente se utiliza en la resistencia el nicromo y el kantal para temperaturas bajo los 1000°C , se pueden utilizar platino con sus aleaciones hasta un rango de 1750°C y molibdeno que requiere una atmósfera de hidrógeno para temperaturas de 2000°C , el calor por inducción se puede utilizar arriba de los 2500°C y recientemente Nedumoff ha utilizado el tungsteno para análisis térmico diferencial a temperaturas superiores a los 2800°C .

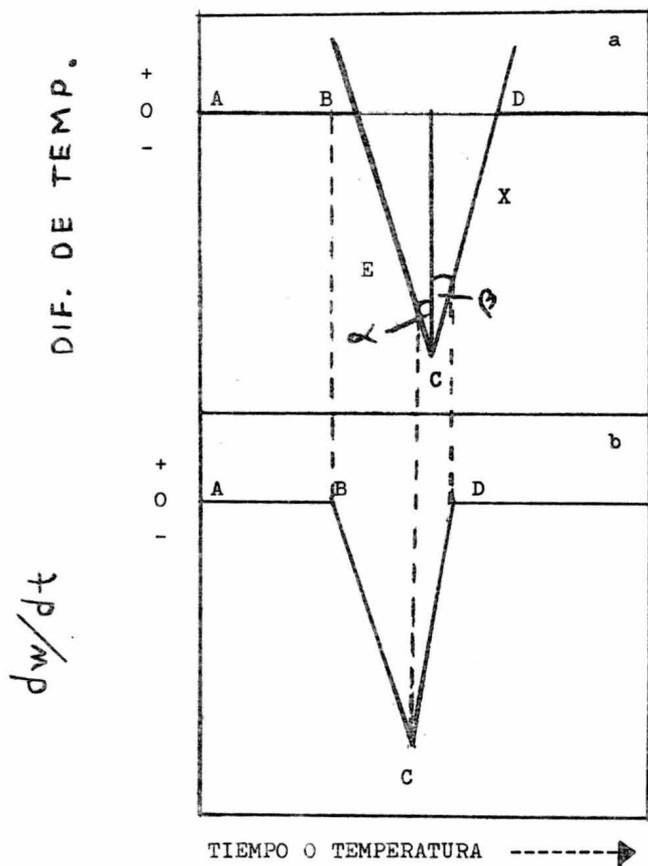
Para los sistemas de control de temperatura se utilizan -- sistemas motorizados que pueden dar un aumento de voltaje de corriente a los hornos pero sin embargo tiene que ser un arreglo bastante - práctico cuando se trate de los controles utilizados a altas temperaturas, pueden existir controles manuales ó controles eléctricos. Las condiciones requeridas para la muestra son de que debe ser calentada a una velocidad de flujo de calor constante por tanto no es practica ble el utilizar el termopar en la muestra ó en el material inerte pa ra el control de la temperatura debido a la gran diferencia de tempera turas entre éste punto y las paredes del horno por tanto se prefie re utilizar un termopar fuera de la muestra y otro lo más cerca posi ble a la fuente emisora. Otro método de control de temperatura que - ha sido utilizado es el que se usa para mover el recipiente que - tiene la muestra constantemente hacia la zona de calentamiento.

Por lo que respecta al recipiente que contiene la muestra, éste puede ser metálico ó cerámico, la mayoría de los metales utilizados son níquel, inconel, platino ó platino-rodio para altas temperaturas. Los recipientes de la muestra de cerámica generalmente son de alúmina sinterizada ó de arcilla para incendio. Los recipientes cerámicos tienden a dar largos picos para la misma cantidad de material debido a la baja velocidad de transferencia de calor en general no se necesita aislar los termopares. La principal desventaja de este recipiente de cerámica es la posición en el horno y la naturaleza porosa que puede influenciar en la forma del pico.

El sistema de medición de temperaturas y el sistema de ---graficado, consiste en un arreglo de termopares pero al escoger los termopares adecuados se deben considerar diferentes factores en primer lugar que los termopares usados no sean afectados químicamente por los materiales de investigación ó por sus productos en descomposición, que dé también una respuesta apreciable de fuerza electromotriz para la más pequeña cantidad de material que se desee detectar. Los termopares de metales raros generalmente presentan una vida mayor que los termopares a base de metales comunes para temperaturas - en el rango de 1000°C a 1500°C , la presencia de ciertos carbonatos y sulfuros puede contaminar a los termopares por tanto la respuesta de la fuerza electromotriz que se genere será demasiado baja, los termopares a base de metal los cuales son más baratos, fáciles de reemplazar y fáciles de construir dan una apreciable disposición de la fuerza electromotriz que detectan, sin embargo son los más fácilmente atacados que los termopares a base de metales raros. Los termopares-d

de metales raros más comunes que se utilizan son; platino, platino--
rodio y los termopares a base de metales comunes son cromel-alumel,-
son necesarios termopares especiales por ejem. los termopares de --
tungsteno-molibdeno arriba de la temperatura de 2000°C y los pares a--
base de carburo de tantalio y grafito los cuales se utilizan arriba-
de los 3000°C . Por lo que respecta al registrador, los registradores
dan una respuesta contra tiempo, el análisis térmico diferencial sin
embargo se acostumbra graficar las curvas de ΔT contra la temperatur
a ésto puede realizarse manualmente a partir de dos curvas ΔT con-
tra tiempo y T contra tiempo obtenidas en diferentes marcadores ó en
el mismo marcador si se utilizan instrumentos de dos puntos, por o -
tro lado es posible emplear los marcadores tipo X Y para graficar --
las curvas diferenciales directamente contra la temperatura.

Fig. 1



Comparación entre una curva térmica diferencial "a" y una curva termogravimétrica "b", para un mismo material hipotético en rangos idénticos de calentamiento, mostrando los diferentes atributos de los picos: por explanación.

A) ANALISIS QUIMICO

Los métodos tradicionalmente lentos de análisis de rocas -- fueron objeto de una revisión muy importante en el momento en que -- los metales alcalinos pudieron ser determinados rápida y exactamente por medio del fotoflamómetro. Hasta ese tiempo estos elementos fueron los determinantes para la lentitud de los procedimientos. Siendo su dosificación exacta de máxima importancia para el cálculo normativo de las rocas, era imposible hacer un análisis completo sin sus valores correctos y todos los procedimientos aún los que usaban reactivos modernos y relativamente específicos, exigían que éstos se llevaran a cabo en una solución libre de casi todos los demás cationes.

Hedin fué uno de los primeros en proponer métodos de análisis relativamente rápidos para aplicaciones determinadas, pero una vez que los métodos flamométricos se incorporaron en la rutina analítica, numerosos autores propusieron diversas marchas para el análisis completo de los silicatos.

La mejor resolución era la de proyectar un mínimo de manipulaciones y separaciones y un máximo de determinaciones directas -- por medio de alícuotas adecuadamente tomadas. Para ello se disponía, como de costumbre, de dos porciones de muestras tratadas en forma diferente que nos suministraría todo el material necesario, excepto para las determinaciones adicionales como CO_2 y Fe^{2+} .

El equipo necesario para el análisis químico fué el siguiente:

1.- Fotocolorímetro Lange Tipo Universal "J"

- 2.- Fotoflamómetro EEL de Evans Electro Selenium Co.
- 3.- Equipo de platino, correspondiente a crisoles de platino de 50ml de capacidad provistos de tapa.
- 4.- Estufa, mufla y sistemas de calentamiento regulable, consistentes en baño de aire especiales.

La marcha seguida para el análisis de la arcilla tema de la presente tesis se rigió por la propuesta por el insigne Prof. y -catedrático de la Facultad de Ciencias Químicas, Ing. Alberto Obregón Pérez.

Materia ruidido con 10 gr de $(\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{K}_2\text{CO}_3)$
Disuelta la fusión en HCl al 10% y evaporada
a seco (110°C). Redisuelta con 100ml de HCl al
10% en caliente, filtrada, bajada con gendarme
y lavada hasta eliminación total de cloruros.

Precipitado 98-99% de la SiO_2 cantidades
variables de Fe, Al, Ti, P, Se calcina en
crisol de Pt, previamente tarado a 1000°C . Se
enfria y pesa, comprobando este peso con otra
calcificación adicional. Se trata con HF y
 H_2SO_4 , evapora a seco, calcina, enfria y
peesa.

FILTRADO: "a" aforarlo en matraz volumétrico a 200ml agitarlo y tomar
las siguientes alícuotas.

5ml, pasarlos a un matraz
aforado de 100ml, y deter-
minar la SiO_2 aún en solu-
ción.

100ml, pasarlos a un vaso de 250ml,
calentarlos a ebullición y precipitar
 R_2O_3 con NH_4OH hasta vire exacto
del rojo de metilo, filtrar y lavar
5 veces con NH_4Cl al 2% caliente.
Regresar filtro y precipitado al
vaso y hervirlo 10 min. con HCl (20-
ml al 50%). Diluir a 100ml y repetir
precipitación, filtración y lavado,
bajando todo el precipitado y jun-
tando los filtradores.

50ml en un vaso de
100ml. Calentar a e-
bullición y agregar
100mg. de ac. ascór-
bico y 10ml de BaCl_2
al 10%. Dejar repo-
sar, filtrar, lavar y
calcinar. Pesar Ba-
 SO_4 e informar como
 SO_4^{2-} .

PRECIPITADO. Poner el filtro con el precipitado en
un crisol de porcelana tarado. Calcinarlo lentamen-
te llevándolo hasta 1000°C dejarlo 15min, enfriarlo
en un buen desecador y pesarlo, comprobando este
peso con una calcinación adicional.

PRECIPITADO: Titulase permanganimétricamente
el CaC_2O_4 siguiendo la técnica usual.

FILTRADO: Evapórese hasta 200ml aprox.
Añádase 10gr. de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ al 10% y al-
calicese con NH_4OH . Déjese asentar 1
hr. a suave calor y filtrese bajando
todo el precipitado y lavado cuidada-
mente con agua caliente.

FILTRADO: 0,5gr. de ac. ascórbico y caliente-
se a $70-80^\circ\text{C}$. Añádase 10ml de la sol. acomple-
jante y 5ml de NH_4OH . Enfriar y titular con
EDTA 0.05M usando como indicador negro de eri-
ocromo.

RESULTADOS:

<u>Componente</u>	<u>%</u>
SiO ₂	54.69
Al ₂ O ₃	24.86
Fe ₂ O ₃	2.94
TiO ₂	0.76
CaO	13.00
MgO	0.09
MnO	0.03
SO ₃	0.91
P ₂ O ₅	0.60

Las motmorillonitas comunes son mejor clasificadas por medio de un análisis químico aproximado por ejemplo: alrededor de 20% de MgO es indicación de una montmorillonita trioctaédral, 20% de -- Fe₂O₃ es indicativo de nontronita y < 1% de MgO y < 10% de Fe₂O₃ es indicativo de beidelita. Claramente la identificación de éstos minerales pueden ser sólomente intentados cuando la muestra contiene los componentes usuales de las arcillas.

B) ANALISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Las suspensiones de arcilla se secan como películas delgadas sobre platinas de vidrio de tal modo que las placas estén paralelas entre sí (orientación preferida). Esto da como resultado mayores intensidades máximas y mínimas de difracción de rayos X. Para la identificación y la estimación semicuantitativa de minerales no aplastados tales como el cuarzo, el feldespato y los óxidos cristalinos de hierro y aluminio, pueden utilizarse muestras de polvo seco de orientación fortuita. Este método de polvo seco se utilizó para casi todos los análisis incluyendo las fracciones de arcilla, antes de -- 1951.

Se usan varias técnicas para preparar las arcillas saturadas de iones y mejorar su orientación paralela.

Procedimiento:

Se coloca una alícuota que contenga 50mg de arcilla en un tubo centrífugo de 50ml. Añádanse unas cuantas gotas (ml) de KCl ~~N.N.~~ centrifúguese y descártese el sobrenadante claro. Combinense los sedimentos, en caso necesario para obtener 50 mg en el tubo. Lávese -- cuatro veces, suspendiendo y centrifugando en porciones de 20 ml de KCl N.

Después del último lavado con KCl N., lávese con agua hasta que parte de la arcilla quede suspendida después de la centrifugación. Agréguese unas cuantas gotas de acetona ó centrifúguese a mayor velocidad, ó ambas cosas para flocular la arcilla. Descártese el sobrenadante.

Las arcillas estrán ya libres de cloruros. Suspéndanse los los sedimentos en agua y ajústese el volúmen de la suspensión para tener el peso deseado de arcilla por placa. Para la mayor parte de las arcillas 50 mg por placa (27 x 46 mm) da la intensidad máxima de reflexión, con un desmoronamiento mínimo de las películas de arcilla

Pongase 2.5 ml de la suspensión de arcilla que contenga 50 mg de arcilla en una placa de vidrio (25 mg de arcilla, si es amorfa). Ya preparada la muestra se corre en el aparato de rayos X, cuyas especificaciones son las siguientes:

- 1) Tubo de rayos X; de cobre
- 2) Detector; contador de flujo
- 3) Voltaje; 40 - 20
- 4) Amplificación; 4×10^2
- 5) Filtro; monocromador
- 6) Velocidad del goniómetro; $1^\circ/\text{min}$.
- 7) Constante de tiempo; 4
- 8) Velocidad del papel $\pm 10 \text{ X}$

Al terminar la grafica que sale automáticamente, se marcaron los grados a los que se encuentran cada pico. El máximo del pico es el valor que se asigna, y el valor de la distancia a la que se encuentra cada pico se obtiene por medio de la ley de Bragg.

$$n\lambda = 2d \text{ sen } \theta \quad \dots\dots\dots (1)$$

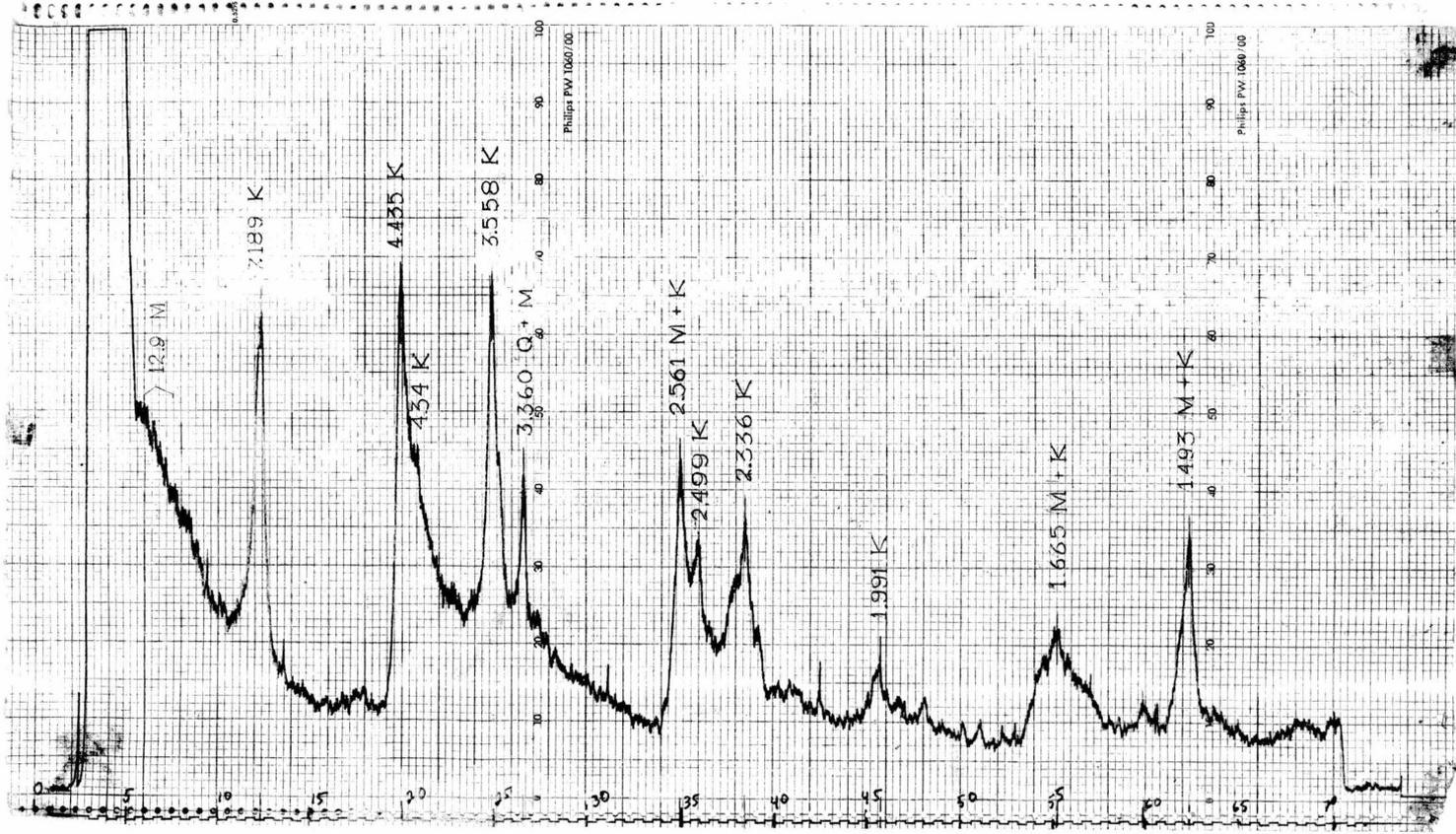
$$d = \frac{n\lambda}{2 \text{ sen } \theta/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

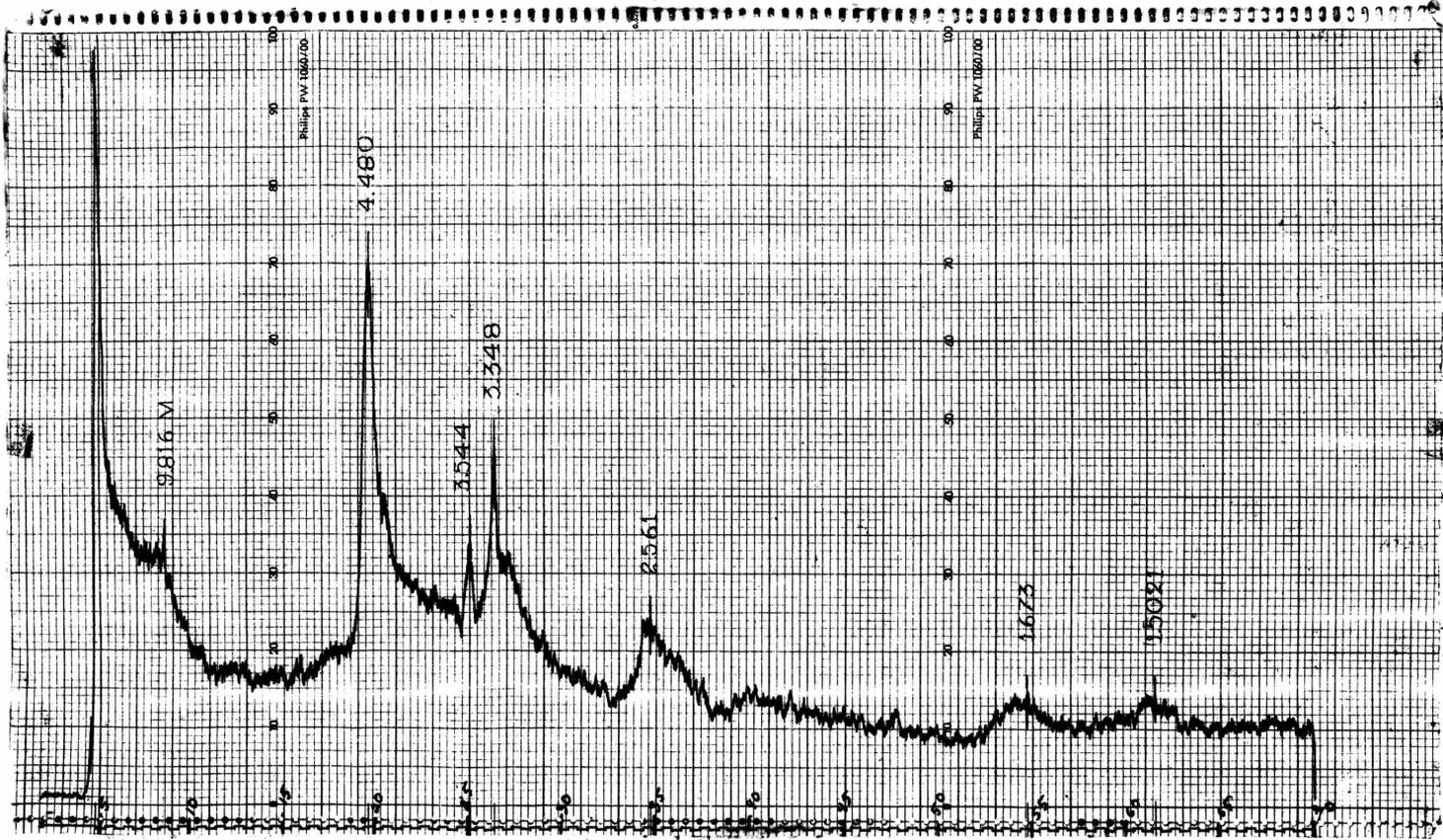
Despues de dar el valor, se relaciona el pico más intenso con el segundo en importancia de intensidad. Se comprueba la rela --

ción con un tercer pico, si la relación es correcta, se busca en el archivo de tarjetas la correspondiente al mineral (kaolín en éste caso), posteriormente se clasifican los picos de menor intensidad, si algún pico sobrara ó hubiera alguna duda en la intensidad de algún pico que tuviera un valor bastante sobrado de su valor original, se busca otro mineral relancinando los picos sobrantes hasta que no que de ningún pico.

En la gráfica (1) se podrá observar la clasificación e identificación de los picos de acuerdo a sus intensidades y por lo tanto la identificación de arcilla, correspondiendo a una mezcla de kaolinita y montmorillonita, el cuarzo se presenta como trazas.

Respecto a la gráfica (2), la muestra se calcinó a 550°C y se corrió la gráfica aportando como datos la presencia de montmorillonita anhidra y los demás picos correspondieron al kaolín.





C) ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

El aparato utilizado para el análisis térmico diferencial fué el Delta Therm, el cual está compuesto por termopares de acero--cromel insertados en un revólver, consta de dos hornos para trabajar dos revólveres con diferentes muestras.

Preparación de la muestra:

Se pulverizó la muestra, se prepararon los canales del termopar con un poco de alúmina y despues se coloca la muestra. Ya teniendo listo el revólver se coloca en el aparato y se procede a encender el equipo, posteriormente se enciende el botón de "test", si enciende dicho botón es indicación de que el revólver está perfectamente bien con sus termopares y si no es que está fundido algún termopar. Debido a que el revólver posee cuatro canales, se identifican y se numeran con una perilla , y procedemos a dar sensibilidad a cada canal (5, 10, 25, 50, y 100%), acto seguido se procede a operar el aparato para correr el análisis y la gráfica sale automáticamente dando reacciones endotérmicas y exotérmicas. El inicio de la gráfica fué a los 20°C y la temperatura final fué de 1100°C. El aparato utiliza gas argón para ayudar a mantener una atmosfera inerte.

RESULTADOS:

Terminado el análisis se redujo la gráfica con un pantógrafo.

En la grafica se registraron cuatro picos, tres endotérmicos y uno exotérmico cuyos valores son los que siguen;

- | | | |
|----------|---|--------------|
| a) 121°C | } | endotérmicos |
| b) 160°C | | |
| c) 584°C | | |
| d) 940°C | } | exotérmico |

Los picos de 121° y 160°C son típicos para la montmorillonita, debido a que esta arcilla posee una gran capacidad de absorción de moléculas de agua, éstos picos representan la pérdida de agua por humedad ó por agua de composición (deshidroxilación).

El pico de 584°C es representativo de una mezcla de kaolín y montmorillonita y el de 940°C es típico absolutamente de la presencia de kaolín, en éste último se realiza una reacción química y aparece un rearrreglo estructural del kaolín debido al aumento de temperatura.

Todos éstos picos fueron comparados con patrones de arcillas puras y de ésta manera se fueron identificando, es decir que la temperatura a la que se produce la reacción identifica a la arcilla.

D) ANALISIS TERMICO GRAVIMETRICO

Los fundamentos teóricos de este análisis fueron explicados en el capítulo anterior, aquí nos inclinaremos a la parte experimental.

Procedimiento:

Se pesó 1.0 gr de arcilla, previamente pulverizada en un mortero de ágata. La muestra se colocó en un crisolito de platino, -e el cual se introdujo dentro de un horno eléctrico que posee una temperatura máxima de 1400°C.

A los 20°C se anotó el tiempo cero y como peso de la muestra 1.0 gr, posteriormente simultáneamente se fueron tomando lecturas del tiempo (con un cronómetro) y el peso de la muestra (usando una balanza analítica, conectada con el crisolito por medio de un alambre del mismo metal), de la muestra se fué tomando la lectura cada 50°C, hasta llegar a los 1100°C. Se efectuaron los cálculos necesarios para obtener pérdida en peso (grs), pérdida en % y pérdida acumulada (%).

El amperaje se fué variando de la siguiente manera;

20°C	-----	2.0	Amps.	
100°C	-----	2.2	"	
400 "	-----	2.4	"	
550 "	-----	2.6	"	
650 "	-----	2.8	"	
700 "	-----	3.0	"	
750 "	-----	3.2	"	
800 "	-----	3.4	"	
850 "	-----	3.6	"	
900 "	-----	3.8	"	máximo amperaje

Cálculos para pérdida en peso;

$$\text{Pérdida en peso} = M_1 - M_2$$

donde,

M_1 = peso de la muestra original (1.0 gr).

M_2 = peso de la muestra a una temperatura determinada.

Cálculos para la pérdida en %;

$$\text{Pérdida en \%} = \text{Pérdida en peso} \times 100$$

RESULTADOS.

Se graficó conjuntamente la curva de análisis térmico gravimétrico y análisis térmico diferencial.

De la curva de análisis térmico gravimétrico, se pudo calcular la proporción que hay en la muestra de kaolinita y montmorillonita, que fueron los datos que arrojó el análisis por difracción de rayos X, análisis químico y análisis térmico diferencial. Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

$$1) \quad 20 \text{ ----- } 300^{\circ}\text{C} \quad = \quad 6.92 \% \quad \text{H}_2\text{O de absorción (montmorillonita)}$$

$$300 \text{ ----- } 750^{\circ}\text{C} \quad = \quad 9.26 \% \quad \text{H}_2\text{O de composición de K+M}$$

2) Montmorillonita

$$100 \% \text{ ----- } 12.90 \quad \text{H}_2\text{O}^- \text{ absorción}$$

$$X \text{ ----- } 5.0$$

$$\text{Humedad} = 5.0$$

$$\underline{X = 38.75 \% \text{ Montmorillonita}}$$

$$3) \quad \text{H}_2\text{O total} = 20.16 \%$$

$$\text{H}_2\text{O absor.} = \frac{12.90 \%}{7.26 \%}$$

$$= \text{H}_2\text{O composición}$$

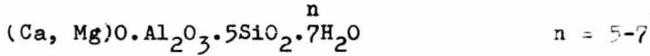
$$100 \text{ ----- } 7.26$$

$$38.75 \text{ ----- } X$$

$$X = 2.81 \%$$

9.26 % H₂O composición de K + M
2.81 % H₂O de montmorillonita
6.45 % H₂O de composición de K

4) Composición ideal de la Montmorillonita, según la fórmula;



P.M. Total = 624.75

MgO = 6.45 %

CaO = 8.97 "

Al₂O₃ = 16.32 "

SiO₂ = 48.08 "

H₂O = 20.16 "

5) Kaolín

fórmula, Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O

SiO₂ = 46.5 %

Al₂O₃ = 39.5 %

H₂O = 14.0 %

100 ----- 14.0

X ----- 6.45

X = 46.07 Kaolín

6) Kaolín 46.07

montmorillonita 38.75

84.82 + Cuarzo (impurezas).

COMISION DE FOMENTO MINERO

UNIDAD TECAMACHALCO

Peso Total 1.0000 gr.

Peso Tara

Peso Muestra

Aditivos Ninguno

Tiempo minutos	Temperatura °C	Peso grs.	Pérdida Peso grs.	Pérdida Peso %	Pérdida Acum. %	Amps.	OBSERVACIONES
0	20	1.0000	-----	-----	-----	2.0	
5	50	.9918	.0082	.82	.77	✓	
7.30	100	.9651	.0349	3.49	3.37	2.2	
10	150	.9430	.0570	5.70	5.54	✓	
13	200	.9343	.0657	6.57	6.35	✓	
17.30	250	.9316	.0684	6.84	6.54	✓	
24	300	.9271	.0729	7.29	6.92	✓	
32	350	.9242	.0758	7.58	7.17	✓	
39	400	.9199	.0801	8.01	7.59	2.4	
46	450	.9092	.0908	9.08	8.65	✓	
57.	500	.8773	.1227	12.27	11.84	✓	
1:7	550	.8467	.1533	15.33	14.88	2.6	
1:17	600	.8401	.1599	15.99	15.53	✓	
1:26	650	.8367	.1633	16.33	15.84	2.8	
1:32	700	.8344	.1656	16.56	16.01	3.0	
1:39	750	.8325	.1675	16.75	16.18	3.2	
1:43	800	.8309	.1691	16.91	16.28	3.4	
1:47	850	.8292	.1708	17.08	16.43	3.6	
1:51	900	.8288	.1712	17.12	16.43	3.8	MAXIMO
1:55	950	.8279	.1721	17.21	16.49	✓	
2:0	1000	.8264	.1736	17.36	16.64	✓	
2:07	1050	.8264	.1736	17.36	16.60	✓	
2:15	1100	.8264	.1736	17.36	16.55	✓	

COMISION DE FOMENTO MINERO

UNIDAD TECAMACHALCO

ANALISIS TERMICOS

Diferencial ———
mv/pulg.: 0,200
10°C/min.: 25%
Gravimétrico - - - - -

Registro Núm.
Procedencia
Material
Interesado

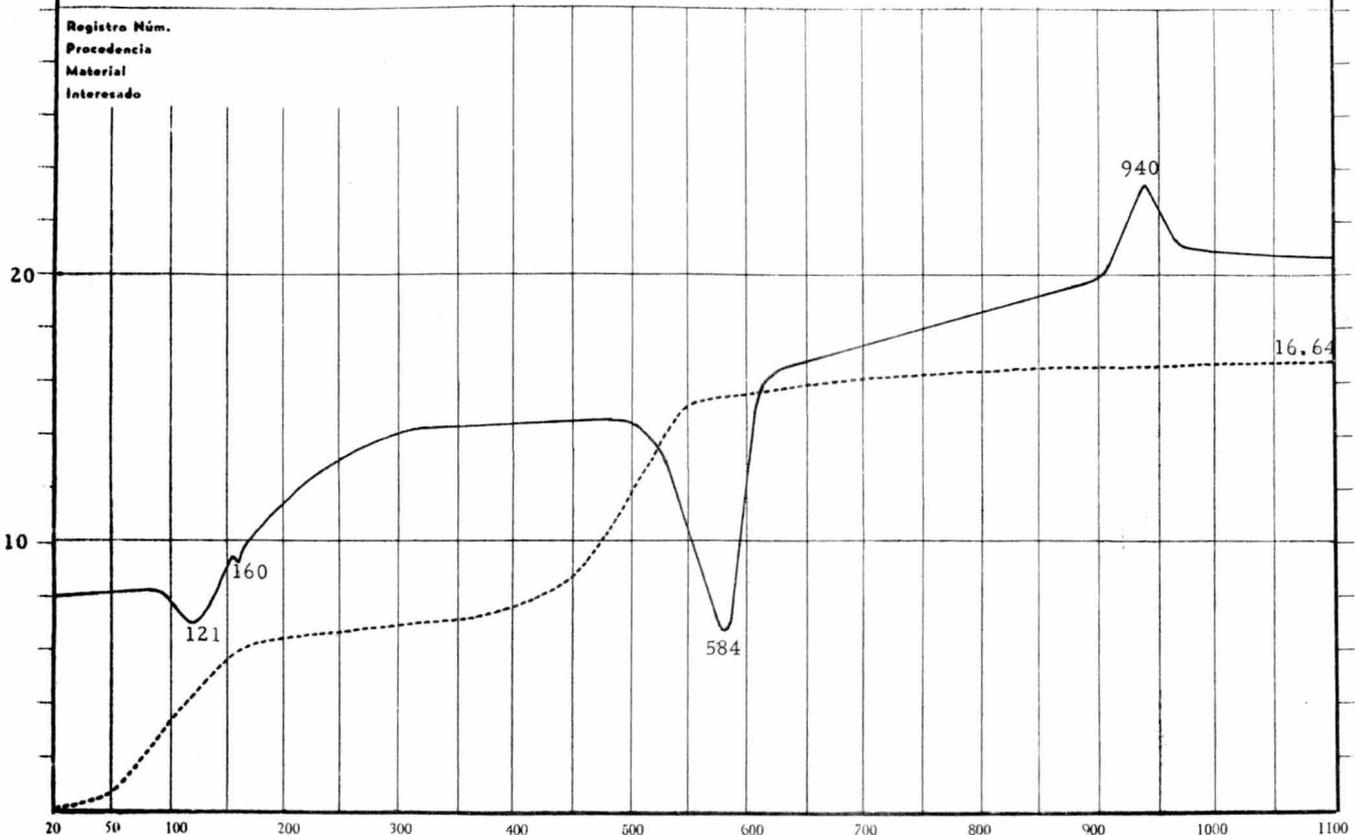
P
E
R
D
I
D
A

D
E

P
E
S
O

E
N

%



TEMPERATURA EN °C.

CAPITULO III

CONCLUSIONES.

Del trabajo experimental se concluye que las arcillas usadas en la fabricación de puntas de lápices y puntillas son principalmente Montmorillonita y Kaolinita, ambas arcillas se encuentran con-
relativa abundancia en México por lo que la importación de dichos ma-
teriales no debe ser necesaria para México.

Con la presente tesis se cree haber logrado los objetivos-
fijados y haber hecho una pequeña contribución al desarrollo del ---
país.

BIBLIOGRAFIA.

Federico, F. Cerámica para Escuelas y Pequeñas Industrias. Cía. Editorial Continental S.A. México, 1960.

Norton, F. H. Elements of Ceramics. Addison- Wesley Publishing Co. - Inc. Massachusetts, 1952.

Chandler, Maurice. Ceramics in the Modern World. Doubleday Science - Series, Doubleday & Company Inc. Garden City, New York, 1968.

Irvin, Rich Charles and Kunze, G. W. Soil Clay Mineralogy. The Uni - versity of North Carolina. Press Chapel Hill, U.S.A., 1964.

Enciclopedia de Tecnología Química. Tomos II y VIII.

Enciclopedia Británica. Vol. 17.

Grim, Ralph E. Clay Mineralogy. Mac Graw-Hill, Book Co. New York, -- 1953.

Obregón, Pérez Alberto. Métodos de Análisis Químico de Rocas y Mate- riales Similares. Instituto de Geología, U.N.A.M. 1^a Ed., México D.- F., 1973.

Investigación de Suelos. Métodos de Laboratorio y Procedimientos pa- ra Recoger Muestras. Editorial Trillas S.A., 1^a Ed., México, marzo - de 1973.