

00172

**LA QUÍMICA DE LOS MATERIALES CERÁMICOS PARA EL
DISEÑO Y LA INDUSTRIA**

Tesis que para obtener el grado de
Maestra en Diseño Industrial presenta:

MERCEDES MEIJUEIRO MOROSINI

**Maestría en Diseño Industrial
Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
México 2004**





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.

DIRECTOR DE TESIS:

Profesor Alberto Díaz de Cossío Carbajal

SINODALES:

Ing. Ulrich Scharer Sauberli

M.D.I. Ana María Losada Alfaro

M.D.I. Emma del Carmen Vázquez Malagón

Dra. María de Lourdes Chávez García

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a DIOS que me ha permitido llegar hasta este momento.

A mis padres que me enseñaron los primeros pasos del camino y a mis hermanos.

Dedico este trabajo a ti EMILIO, mi compañero, esposo, amigo, por que has creído en mí siempre, por que gracias a que ves en mí lo posible, haces que crea que puedo, por tu ejemplo, lealtad y amor hacía mí, por acompañarme en éste camino y en todos, sin ti a mi lado sé que no habría sido posible.

A mis queridos hijos: Meche, Paty, Emilio y Mony, a sus esposos Mauricio y Juanita, gracias por su cariño y apoyo incondicional.

A mis nietos que son la alegría y gozo de mi familia: Carito, Miriam, Carlita, Santiago, Nicolás y Ruth.

A mis compañeras y amigas: Martita Rodríguez, Graciela Müller, Martha García, Anita Domínguez, Maria de Lourdes Chávez, Lupita Mercado, Adelina Pasos, Mercedes Llano y Leticia Baños, por su amistad.

A mis primos Marino y Bibis; sobrinos: Marina y Rodrigo, María Eugenia y Socorro, por su valiosa ayuda.

A mi maestro Alberto Díaz de Cossío y a su esposa Cora, por su apoyo y su amistad.

A mis maestros: Mtro. Horacio Durán, Mtro. Oscar Salinas, Mtra. Ana María Losada, Ing. Ulrich Scharer, Mtra. Emma del Carmen Vázquez Malagón por sus enseñanzas y haber confiado en mí.

A todas las personas que en este camino han creído en mí, ya que su ánimo y consejos me han animado e impulsado a seguir adelante.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
I. DISEÑO.....	7
A. Diseño.....	7
II. EVOLUCIÓN DE LA CERÁMICA.....	12
A. Historia.....	12
B. Métodos de formado.....	15
• Preparación de la arcilla.....	15
• Formado por presión manual.....	15
• Formado por rollos.....	16
• Formado por placas.....	18
• Método de prensado.....	18
• Técnica de vaciado de barbotina.....	20
• Elaboración de murales y esculturas.....	21
C. Torno.....	23
D. Hornos.....	25
• La cocción.....	25
• Diferentes tipos de hornos.....	26
• Hornos modernos.....	28
• Medición de la temperatura del horno.....	30
E. Métodos de decoración vidriados o esmaltados.....	31
• Técnica de engobe.....	31
• Técnica de fayenza o pasta egipcia.....	32
• Vidriado.....	32
• Vidriado de celadón.....	33
• Técnica de bajo y sobre vidriado.....	33
• Técnica de vidriado a la sal.....	34
• Cerámica lustre.....	35
• Calcomanías.....	35
III. MATERIAL CERÁMICO.....	37
A. Las arcillas.....	37
B. Clasificación.....	38
• Según la cantidad y naturaleza de las sustancias.....	38
• Según su origen geológico.....	39
• Según su composición química Seger.....	39
• Según su uso Norton.....	39
• Según su plasticidad.....	40
C. Propiedades.....	40

D. Ensayos preliminares sobre depósitos de arcilla natural para sus posibles aplicaciones.....	41
• Inspección visual y de textura.....	41
• Tamizado.....	41
• Superficie específica.....	42
• Plasticidad.....	42
• Medida de plasticidad.....	43
• Tixotropía.....	44
• Capacidad de intercambio catiónico.....	44
• Capacidad de adsorción.....	44
• Hidratación e hinchamiento.....	45
• Secado y cochura.....	45
• Toma de muestras.....	45
• Determinación del tamaño de grano.....	46
• Dispersión de la arcilla cruda.....	46
• Moldeabilidad.....	47
• Granulometría.....	47
E. Pruebas físicas que deben realizarse a las arcillas.....	48
• Contenido de humedad.....	48
• Comportamiento térmico.....	48
F. Análisis Térmico.....	48
• Análisis térmico diferencial (ATD).....	49
• Análisis térmico Gravimétrico (ATG).....	50
G. Rayos X.....	52
H. Análisis Químico.....	56
I. Estructura y propiedades cristalinas de las arcillas.....	57
• Grupo de la caolinita.....	57
• Grupo de las esmectitas.....	59
• Grupo de los feldespatos.....	61
• Grupo de las micas.....	62
• Grupo del cuarzo.....	64
IV. APLICACIONES DE LOS MATERIALES CERÁMICOS.....	68
A. Pastas.....	68
• Diagrama de las pastas.....	68
B. Aplicaciones de los materiales cerámicos.....	69
• Ladrillos.....	69
• Terracota.....	70

- Azulejos.....	72
- Vajillas.....	73
- Loza sanitaria.....	74
• Gres.....	75
- Fino.....	76
- Blanco.....	76
- Eléctrico.....	77
• Arcilla Refractaria.....	77
• Refractarios.....	77
• Loza Blanca y semivítrea.....	77
• Porcelana.....	77
- Porcelana Química.....	79
Aplicaciones.....	79
Ejemplos de productos.....	80
- Eléctrica para alta tensión.....	80
Aplicaciones.....	81
Ejemplos de productos.....	81
• Zircón.....	82
• Alúmina.....	82
• Cerámica especial para uso eléctrico.....	83
• Cerámicas eléctricamente conductoras.....	83
- Ejemplos de productos aislantes.....	83
- Aplicaciones propiedades dieléctricas.....	84
- Eléctrica para baja tensión.....	84
- Para bujías de encendido.....	84
- Material aislante.....	85
• Cerámica en sistemas biológicos.....	86
• Sensores.....	87
• Cerámicas reforzadas.....	87
V. PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS.....	89
DIFRACTOGRAMAS.....	95
CONCLUSIÓN.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
GLOSARIO.....	105

INTRODUCCIÓN

La producción de cerámica es una de las artes más antiguas de todos los pueblos del mundo, un arte que ha sido el común denominador en la evolución y desarrollo de diferentes civilizaciones. Asimismo va estrechamente ligada a la evolución del hombre y, por su gran resistencia al deterioro y al paso de los años, es uno de los testimonios más precisos de antiguas culturas. Los objetos arqueológicos han ayudado a la reconstrucción histórica de las culturas a las que pertenecieron, ya que dentro de un objeto cerámico están reflejados los conocimientos e interpretaciones que una comunidad tiene del universo.

La palabra cerámica se toma en sentido tal que comprende aquellos artículos que se fabrican a partir de sustancias inorgánicas primero moldeadas y después endurecidas por el fuego. La arcilla es un material sencillo económico y abundante, a menudo puede encontrarse en la tierra ya ablandado por la humedad y listo para ser trabajado.

Los objetos de arcilla sin cocerse pueden machacarse, mezclarse nuevamente con el agua y volverse a trabajar ya que el material es: blando, dócil y posee plasticidad*. Puede ser modelado, aplanado, enrollado, pellizcado, embobinado, prensado*, torneado, vertido en moldes, estampado, con este material pueden hacerse objetos pequeños y delicados, macizos y formas arquitectónicas, las formas de la arcilla pueden parecer flojas como un trapo arrugado o tener la precisión de las máquinas electrónicas, los objetos hechos con arcilla pueden ser blanco brillante, crema, rojo, naranja, amarillo, gris, marrón y negro. Su textura puede ser lisa, rugosa, arenosa o rasposa; la arcilla cocida puede tener una translucidez cercana a la del vidrio y una densidad semejante a la piedra más dura, la arcilla también responde a la conformación de secado, cocido y mezclado.

Una pella* de arcilla determinada puede transformarse en: una teja, un ladrillo, una escultura, un jarro para agua, un juguete para niños, un jarrón u otros objetos admirados por miles de personas en los museos, y en la vida diaria.

El conocimiento de la manera de trabajar la arcilla ya sea cocida o vidriada produjo un avance importante en la calidad de vida de los hombres que la utilizaron para fabricar los ladrillos, las tejas, los tubos de suministro de agua y drenaje, los sanitarios y los utensilios de cocina entre otros.

Pero al dar forma y cocer la arcilla surgen muchas dificultades por la inevitable contracción cuando se seca y se somete a altas temperaturas. En un principio no se tenía explicación para esta transformación de los materiales; posteriormente, gracias al avance científico en diversos campos, se ha llegado a la comprensión de estas características con el auxilio de la química, la física, la microscopia electrónica y la difracción de rayos "X".

Mediante todos estos recursos se ha establecido la composición y estructura de las arcillas las cuales se consideraban antes como amorfas; los análisis de rayos "X" aplicados a polvos, han demostrado la naturaleza cristalina de las partículas de arcilla. Esta técnica nos ha permitido que un buen diseño industrial de cerámicas toma en cuenta las propiedades

físicas y químicas específicas de los materiales que se van a utilizar además de los requerimientos inherentes a los objetos que se van a producir.

La gran libertad solo si conoce adecuadamente las características de los materiales cerámicos que tiene el diseñador para la conformación de objetos, le confiere una elevada responsabilidad social además de satisfacer las necesidades de los usuarios ha de considerar el medio ambiente así como la preservación del ecosistema; si bien el uso de las arcillas que se utilizan en la industria cerámica normalmente no perturban la ecología, si podrían hacerlo algunos de los combustibles, colorantes, y sustancias para acabados podrían hacerlo si se descuidara el manejo de desechos, especialmente cuando la producción es a mayor escala.

Este trabajo pretende, a través del análisis de los materiales cerámicos, desde su estudio de rayos "X" demostrar la importancia de la producción de cerámicas que es una de las primeras artes desarrolladas por el hombre, en la actualidad continua siendo una actividad esencial, por ello en esta tesis se busca considerar los avances del diseño industrial especializado en cerámica desde una perspectiva interdisciplinaria actualizada. Las tendencias actuales en la industria, promueven la intercomunicación y el mutuo apoyo entre disciplinas, ciencia y técnica y se trata de romper el aislamiento entre ellas.

El objetivo de esta tesis es estudiar las aplicaciones del diseño industrial en la fabricación de piezas de porcelana que se emplean en los laboratorios de química.

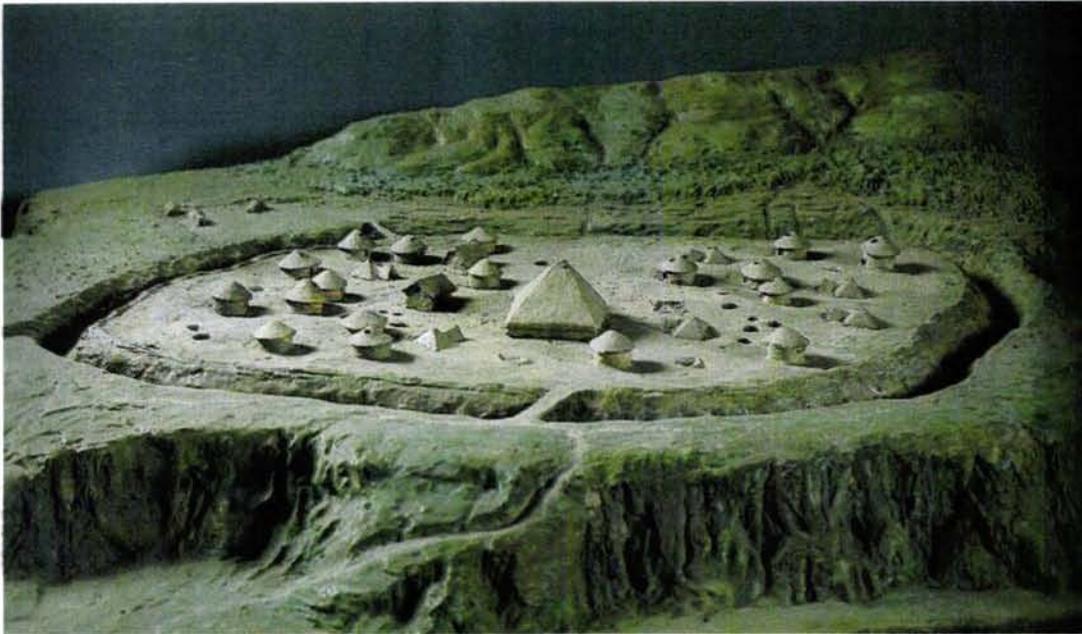
Se hace su estudio de los materiales desde el punto de vista de su composición química para seleccionar las arcillas y utilizar las más adecuadas. Para alcanzar este objetivo se desarrollaron los siguientes temas:

- I. La importancia del diseño.
- II. La cerámica ha ido a la par de la evolución del hombre, como se ve a través de los datos históricos, desde la utilización del torno, el uso de diferentes tipos de hornos y diferentes acabados.
- III. El estudio de los materiales desde el punto de vista de sus propiedades físicas y químicas, sus estructuras y la caracterización de estos materiales con la ayuda de la técnica de rayos X.
- IV. Las aplicaciones de los objetos cerámicos desde su uso en la construcción, ayudando en el confort y la higiene, en los últimos años se han logrado grandes avances tecnológicos dentro de este campo de los materiales cerámicos, como son implantes de huesos en humanos e industrialmente en la fabricación de artículos tales como sensores y otros.
- V. Se realizó una aplicación del diseño para hacer objetos de porcelana de uso en laboratorios químicos estudiando varias arcillas de la República Mexicana por el método de los rayos X, y se comparó este estudio con el de una arcilla procedente de los Estados Unidos, ya que en México existen grandes yacimientos de arcillas que pueden ser utilizadas, como se demostró en este trabajo.

I. DISEÑO

A) Diseño

El hombre al inicio de la vida siempre creó objetos para subsistir observando y experimentando que materiales le eran útiles, así descubrió la arcilla que es un material que se podía modelar e inició su uso generando objetos vitales que le sirvieron para mejorar su sobrevivencia.



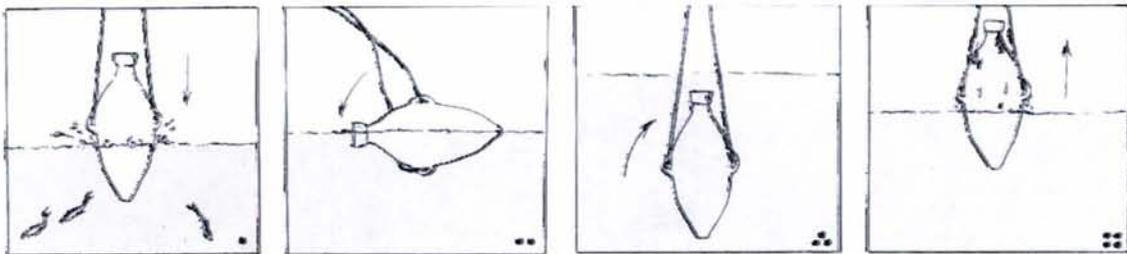
Museo de Banpo China. Fig. 1

Por instinto o intuición el hombre actúa en forma evolutiva y modifica el mundo objetual que lo rodea ya que la intuición responde a una serie de pautas genéticas en las que va usando todos los datos que adquiere a lo largo de su vida, y así lo va observando y registrando.^[20]

La evolución ha sido lenta y difícil, se han desarrollado diferentes objetos similares en las diversas culturas, tiempo y lugares, siempre presentando cambios a esta creatividad.

El uso de las arcillas ayudó a crear objetos dándole al hombre formas útiles para guardar, conservar, transportar, y para la construcción de su vivienda mezclando la arcilla con paja así como con otros materiales, resolviendo sus necesidades básicas.

Modelo de un objeto utilitario para transportar agua:

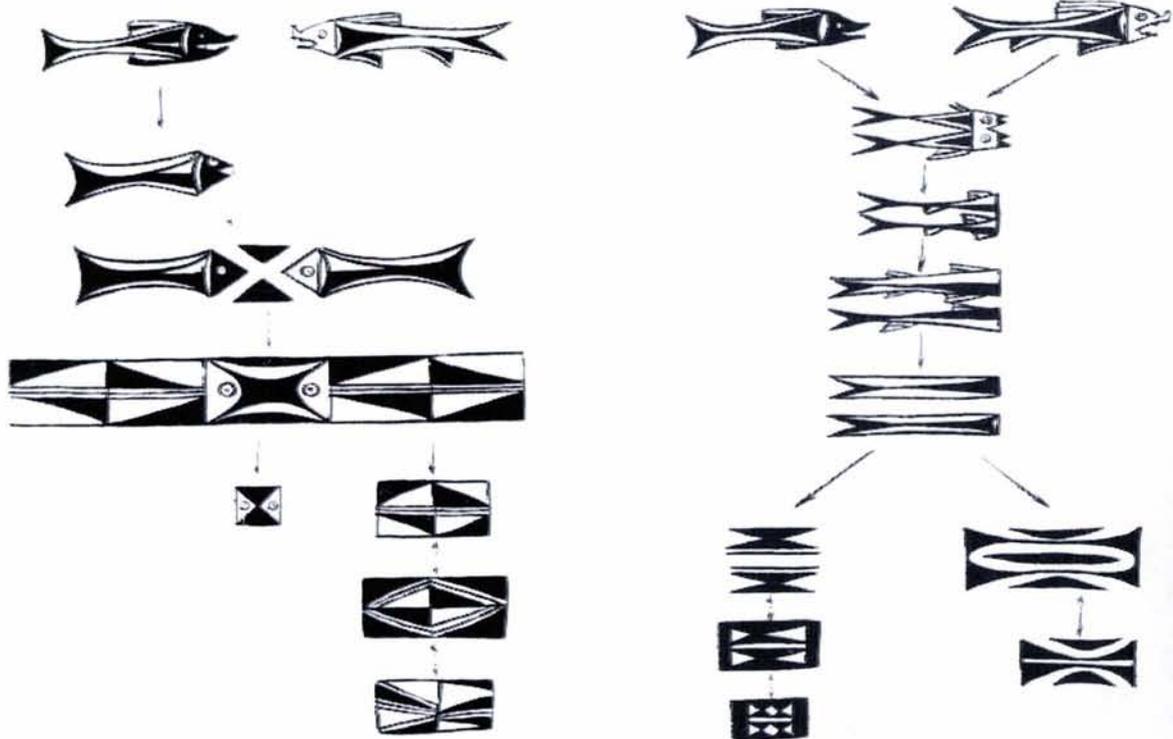


Museo de Banpo China, época Neolítica. Fig. 2

También la arcilla sirvió para realizar objetos de carácter simbólico como una manifestación de su fe religiosa y del pensamiento mágico que en su tiempo era tan importante para aquellos hombres que estaban a merced de la naturaleza.

El hombre al descubrir el fuego y aprender que los objetos de arcilla se endurecían al ponerlos en contacto con él, observa que el material se vuelve más duro, más resistente, no se desintegra por el agua, esta etapa es aproximadamente 20,000 años a. C.

La arcilla usada era la cercana al lugar utilizando el material tal como lo encontraban, con base en la observación y experimentación empezaron a mejorarla, depurando la arcilla, quitándole piedras y otros materiales mejoraron los métodos de modelado elaborando piezas con mayor detalle puliendo y decorando las superficies con incisiones más o menos profundas. Usaban otras arcillas para darle color como un concepto de ornato. Se muestra adelante un ejemplo de la evolución de un diseño aplicado en un objeto.^[24]



Museo de Banpo China, época Neolítica. Fig. 3

Los grupos humanos van teniendo contacto entre sí, la cultura de los objetos es intercambiada y mejorada, lográndose una verdadera evolución en ciertas áreas de la tecnología, como fue en el uso del torno. En ese momento lograron hacer piezas grandes, más perfectas, con mejores decorados. La influencia de un proceso de transformación ha llevado a la humanidad a lograr avances no solo técnicos, sino culturales, sociales y económicos.^[15]

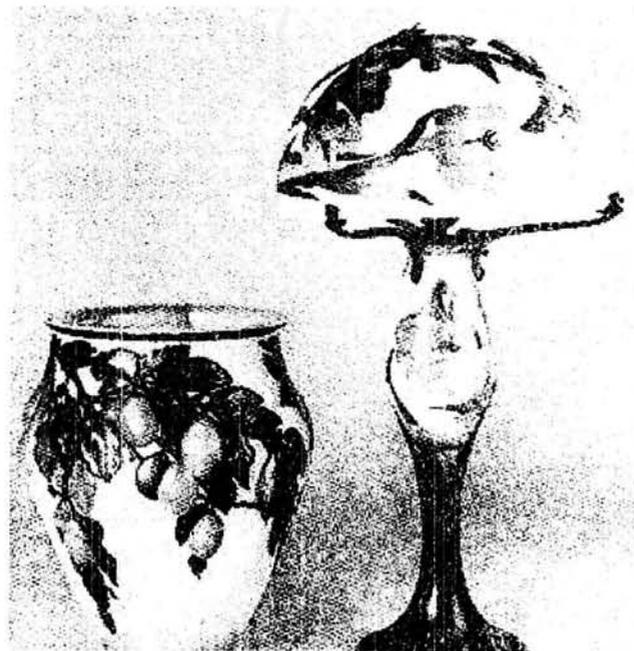
La cerámica ha ido a la par de la evolución del hombre, mejorando el confort y la higiene en los hogares ha realizado objetos con excelentes técnicas, reproduciéndose a veces en forma única o talleres familiares. Con el crecimiento de los grandes núcleos poblacionales que demandan más artículos de consumo para la vida cotidiana surge la revolución industrial.

Los industriales no tomaban en cuenta los aspectos formales y estéticos, estos productos manufacturados en forma interactiva, reflejaban una marcada preocupación por lo funcional, así el mercado se llenó de productos ornamentales llevando esto, a un abuso de la mecanización no habiendo una relación de la industria con el artista o el diseñador, y fue necesario para “demostrar la unión del mejor arte con la manufactura reformar la producción”.

En Inglaterra a finales del siglo XVIII y principios del XIX tuvo éxito la cerámica industrializada provocando la decadencia de la alfarería manual, ya que las piezas hechas mecánicamente eran perfectas y a costos bajos. Esto generó protestas en contra de la mecanización o la promoción del buen arte ornamental.

Así William Morris (1857) arquitecto y artista inició un movimiento reuniendo intelectuales y artistas con el fin de diseñar y fabricar productos que se destacaran por la manufactura impecable y la calidad en contraste con los objetos producidos en serie, teniendo éxito surgiendo el movimiento de “Artes y oficios”, pero la máquina no podía dejar de usarse y empieza una vinculación entre el arte y la industria buscando elementos que ayudaran a los objetos a ser menos rígidos y estáticos, mas orgánicos basados en principios científicos surge una corriente llamada Art Nouveau.

El Art Nouveau logra crear objetos con movimiento y equilibrio, el manejo de la forma es más coherente con relación a los materiales y los objetos, se saturan de ornamentación.^[30]



Jarrón y lámpara de Emile Gallé, típicos exponentes de la escuela de Nancy, estilo Art Nouveau. Fig. 4

Después de la Primera Guerra Mundial, los arquitectos, artistas y diseñadores alemanes sentaron las bases para un movimiento renovador de los diseños que culminó con la apertura de la escuela de la Bauhaus, teniendo nuevos conceptos de diseño relacionando los materiales que utilizaban, comprendiendo sus propiedades, su naturaleza, su estructura, las diferencias entre uno y otro, por lo tanto la relación, las posibilidades de combinación de las formas y la funcionalidad de los objetos.

El principio “la función antecede a la forma” significa que el diseño de cualquier objeto debe concordar con su propósito, respetando la integridad de los materiales.

La cerámica a través del tiempo siempre ha estado enfocada a ser creativa, buscando la funcionalidad, usando diferentes técnicas de decorado y a veces buscando lo estético de la forma simple.^[30]

II. EVOLUCIÓN DE LA CERÁMICA

A. HISTORIA

La historia de la cerámica concuerda con todos los pueblos de la tierra y en todos los tiempos. La división cronológica de la cerámica no puede servir de guía para su estudio, puesto que han sido las relaciones de los hombres, y no el tiempo, quien ha determinado el progreso de la cerámica en una continua serie de influencias; éstas han irradiado de un centro a otro en las distintas civilizaciones que han florecido desde los albores de la historia hasta nuestros días. El gran espacio prehistórico que comprende todo el período neolítico y gran parte de la edad de bronce, ofrece caracteres comunes a las razas de civilización naciente; la tosca cerámica apenas decorada que nos revelan las excavaciones de las estaciones prehistóricas, es análoga a la que labran actualmente los africanos de las selvas congoleñas. Al iniciarse la historia desentrañada de las primeras leyendas y poemas griegos, ya habían alcanzado un alto grado de cultura los pueblos establecidos a orillas del Nilo y a lo largo de los ríos mesopotámicos; los ceramistas griegos, aprovechando las influencias recibidas de egipcios, asirios y de los pueblos del norte, supieron ennoblecer el barro cocido, creando vasos de formas imperecederas y cubriéndolos de dibujos en los que se compendia la vida helénica. Roma y sus colonias y más tarde Bizancio, mantuvieron algo de la estética griega, propagándola hasta el Extremo Oriente, en donde lentamente se amontonaban los materiales de una ceramografía completamente separada de la europea, con la cual se enlazó por medio de las artes del Islam, de las que aprendieron los ceramistas chinos el empleo del hermoso azul de cobalto.

La nueva civilización mesopotámica y persa, influida a su vez por sus vecinos asiáticos, extendió sus excelencias cerámicas por Siria, Egipto y África del Norte donde penetró en la Península Ibérica, creó las maravillas de la loza hispano-morisca, madre de la mayólica italiana, cuyo fin marcó el descubrimiento de la porcelana europea y la universalización de los conocimientos científicos de la cerámica.

Para la historia de la cerámica artística, comprendiendo la alfarería, el barro vidriado, la loza, mayólica, gres y porcelanas, partiendo de los primeros ensayos de un arte, es esencial insistir acerca de los orígenes de los centros cerámicos que mayor influencia han ejercido, clasificándolos en lo posible, geográficamente, y añadiendo las relaciones seguras o probables que hayan tenido con otros pueblos. Sólo con el descubrimiento de que el calor cambia la arcilla a un material inalterable, al volverse dura, podemos decir que comienza la historia de la cerámica. A continuación veremos los cuadros cronológicos de la historia de la cerámica. Período antes y después de Cristo.

REGION	A. C.		A.D.E.	
	6000	4000	3000	2000
ORIENTE PROXIMO Y MEDIO	Anatolia Siria Alta Menor	Cerámica pintada con pigmento blanco sobre cuerpo rojo	Cerámica moicando parramientos influenciada de Creta y Mesopotamia	Cerámicas decoradas
	Mesopotamia	Cerámica incisa. Pintada Cerámica pintada de Samarra	Se hace vidrio	Uso del vidrioado al plomo
	Egipto	Cerámicas bicoloradas. Inmanente hecha, formas bien Perisadas. Arcillas cuidadosamente preparada	Introducción del torno Cerámica Maydum	Desarrollo de un estilo pintado vivo
	Persia	Cerámicas pintadas de Tape Susa.		Desarrollo de formas y Decoración para uso ritual
	Creta		Civilización Minoica. Estilo ricamente pintado basado en decoración naturalista.	
LEJANO ORIENTE	India		Valle del Indo. Muy bien hecha. Decoración pintada.	
	China		Periodo Neolítico. Urnas de arcilla roja, pintadas con motivos orientales en rojo, negro y marrón. Provincia de Kansu. Río Amarillo	Eón del bronce. El trabajo del metal influye fuertemente las formas de las vasijas. Cucharros de cocina de arcilla gris con patas en tripode.
	Corea		Se conoce poco de la primera cerámica, pero se admite que siguió a la de China.	
	Japón		Se siguen métodos de trabajo a mano.	Estilo Jomon. Urnas enrolladas con decoración impresa de cuerdas.
	Grecia			Cultura Micénica. Cerámica Minoica, muy refinada.
EUROPA	Italia		Civilización de Villanova. Cerámica gris dura.	Periodo griego clásico. Estilo geométrico figuras negras figuras rosas
	Bizancio			Cerámica gris etrusca Establecimiento de Roma.
	España		Pueblos de los vasos, emigrados a otros lugares de Europa.	Cerámica basta de estilo romano.
	Holanda		Cuentos y urnas con decoración lineal.	Introducción del torno. Cerámica hecha imitando formas de fierro. Decoración impresa.
	Alemania		Introducción de la cerámica desde el continente. Cuencos hechos a mano para semillas, etc. Cucharros de cocina.	Edad de Hierro. Introducción de la rueda sencilla. Formas imitando las de fierro. Decoración incisa.
AMERICA	Gran Bretaña			
	Norte		Primera cerámica encontrada en Ecuador.	Cerámica moldeada. Asas en estribo.
	Centro		PERIODO DE FORMACIÓN Amplia variedad de formas, principalmente de uso doméstico cocina, almacenaje y agua. Decoración con engobe pintado y con reserva. Superficies bruñidas. Motivos incisos.	
	Sur		Estilos Chavin y Cupisnique. Decoración incisa. Región noroandina.	

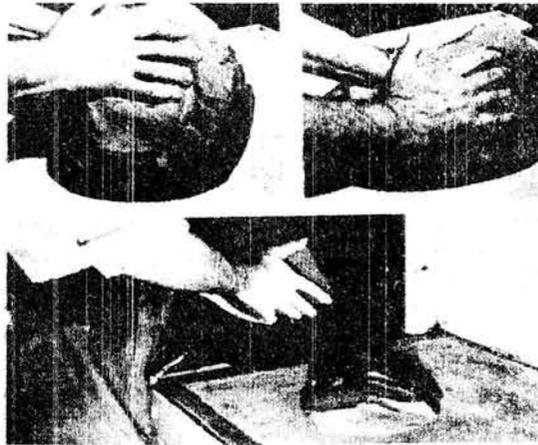
Cuadro Cronológico de la historia de la cerámica. Periodo antes de Cristo. Cuadro 118

B. MÉTODOS DE FORMADO

La arcilla se encuentra sobre la mayor parte de la superficie terrestre, al agregarle agua se vuelve plástica, siendo esta una de sus propiedades, se vuelve manejable, y se le pueden dar diferentes formas.

▪ Preparación de la arcilla

La arcilla se prepara en pequeñas o grandes cantidades mezclándola con una cantidad de agua ligeramente superior a la cantidad de arcilla necesaria para obtener la consistencia de formado, esto se debe a la necesidad de compensar la evaporación que se presentará durante el amasado* y el almacenamiento. Para lograr un control de proceso de formado, la arcilla plástica debe ser perfectamente uniforme en su consistencia y estar libre de burbujas de aire. Por consiguiente debe amasarse muy bien antes del proceso de los métodos de formado.^[6] (Figura 5)



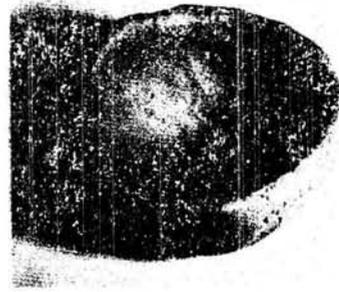
Amasado de arcilla presionando con las palmas de las manos. (Fig. 5)

▪ Formado por presión manual

El método de presión manual es quizá la técnica más simple y más antigua para modelar recipientes no requiere ninguna clase de aparatos. En una pequeña bola de arcilla se forma un hueco con el pulgar y con una presión gradual con los dedos, las paredes se van adelgazando paulatinamente y se va obteniendo la forma. Si la arcilla está demasiado húmeda, la pieza se deformará, mientras que una arcilla que está muy rígida producirá grietas. Las grietas pequeñas pueden resanarse presionando y friccionando con los dedos. No se recomienda usar agua en la superficie para resanar las grietas de una arcilla demasiado seca, es preferible mojar toda la arcilla, volver amasar una bola y reiniciar la operación. Cuando la pieza está con una consistencia de cuero, se pueden pegar bases o bordes de rollos*.^[24] (Figuras 6-9)



Se forma un hueco con el pulgar en una bola de arcilla. Fig. 6



La pared se adelgaza gradualmente para ir desarrollando la forma. Fig. 7



El interior se frota con los dedos para lograr una superficie tersa libre de grietas. Fig. 8

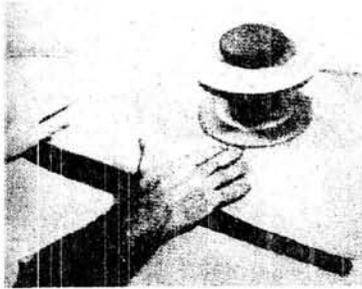


A la vasija completa se le añade una base en forma de rollo. Fig. 9

▪ Formado por rollos

La técnica de rollos que se ha empleado durante miles de años, antes de la invención del torno del alfarero se continúa usando en muchas culturas hasta la actualidad ya que no requiere de ningún equipo, este método puede lograr piezas grandes. Una bola de arcilla plástica se moldea en forma de rollos utilizando la palma de las manos, la arcilla no debe de estar muy húmeda para que no se pegue ni muy seca para que no se produzcan grietas, para unir los rollos se utiliza la arcilla en forma de barbotina* al terminar la forma la superficie puede alisarse.^[21]

La cerámica se trabaja a mano, aplastando y manipulando la arcilla entre los dedos haciendo rollos o tiras y colocando uno sobre otro uniéndolos entre sí y alisándolos por encima, esto permite la construcción de vasijas más grandes.^[24] (Figuras 10-19)



Se forma un rollo del espesor deseado. Fig. 10



El primer rollo se coloca sobre la base plana ya preparada. Fig. 11



Los rollos se unen en el interior frotando la superficie. Fig. 12



La pieza terminada recibe un acabado con un rascador metálico. Fig. 113



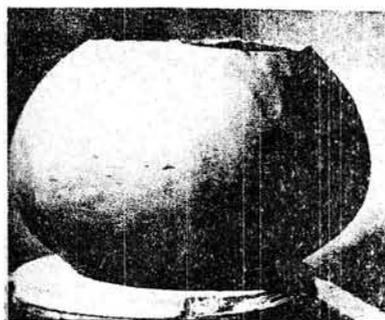
Los rollos gruesos se colocan sobre una base de placa previamente preparada. Fig. 14



Un trozo curvo de madera y una paleta van dando forma a la pieza. Fig. 15



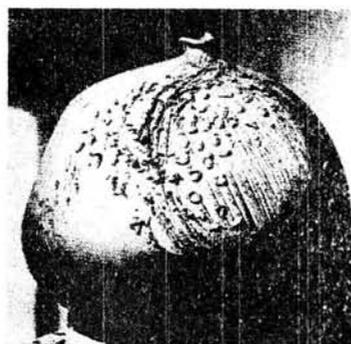
Las paredes se han adelgazado golpeando con la paleta. Fig. 16



La superficie exterior de la pieza terminada recibe un acabado para obtener uniformidad. Fig. 17



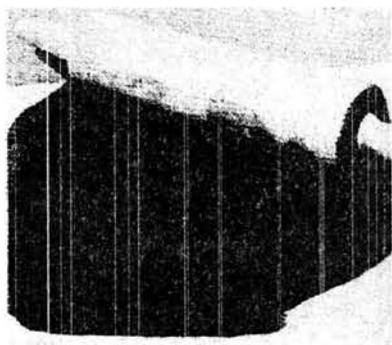
Se añaden rollos delgados para formar bordes. Fig. 18



Se añaden texturas decorativas aplicadas o talladas. Fig. 19

▪ Formado con placas

Se forma la placa con la palma de la mano o con un rodillo hasta tener el espesor deseado, las placas cortadas se pueden unir con barbotina, se corta al tamaño deseado, se le va dando la forma y los empalmes se unen con la barbotina, se pule la pieza y se deja secar.^[21] (Figuras 20-22)



La placa de arcilla se aplana con un rodillo. Fig. 20



Se le puede colocar una base pegándola con barbotina. Fig. 21



Los extremos se empalman con barbotina. Fig. 22

▪ Método de prensado

Algunas formas pueden duplicarse con un proceso muy económico utilizando prensas hidráulicas con moldes, se utiliza una pasta que tenga un 10% de humedad y en los moldes se utiliza cera como lubricante, los moldes son machihembra y moldean la forma, se necesitan grandes presiones que comprimen la arcilla, se hace fluir aire comprimido por los tubos y la pieza de arcilla puede desprenderse de inmediato después del formado, el aire comprimido que fluye en el dado inferior contrarresta la adherencia de la arcilla y los dados se separan el operador separa la pieza recién formada por medio de aire comprimido que fluye por el dado superior, y la coloca sobre un panel para el secado.^[21] (Figura 23)

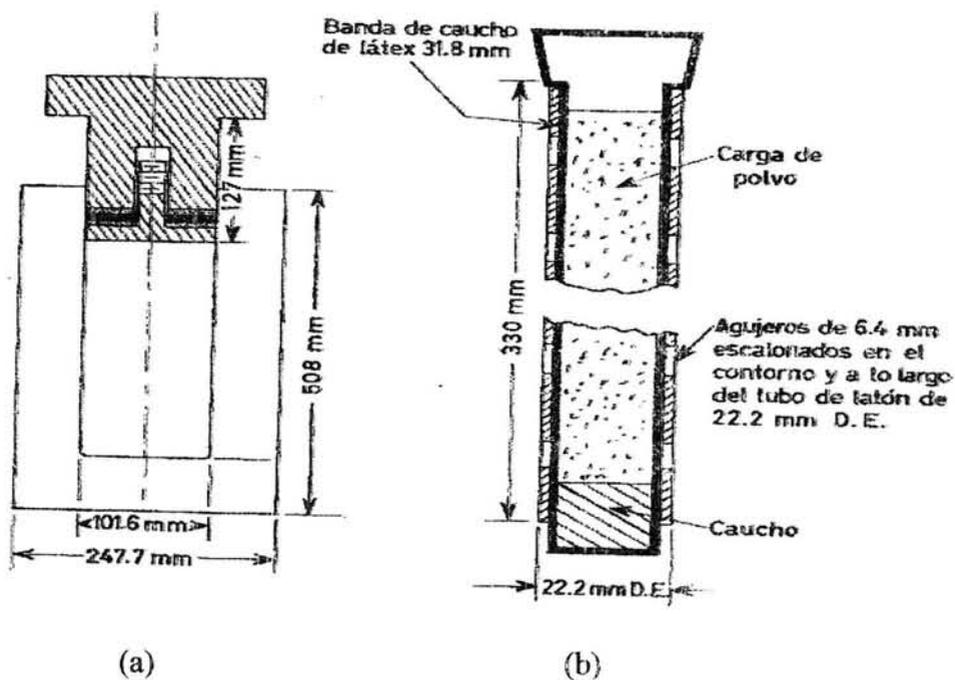


Se tornea manualmente la forma aproximada en el molde. Fig. 23

Otro método de prensado, es en el que se necesita estudiar las variables para determinar los factores convenientes para la elección de los materiales cerámicos, las variables son:

- La materia prima, controlar el tamaño de partícula y pureza del material.
- Agregados, material muy puro ya que este se va a poner en contacto con la fase aglutinante, la composición debe ser uniforme y constante con materiales puros.

Hay el método de prensado en caliente que se usa menos presión y el método de prensado en frío que necesita mayor presión para el formado de la pieza.

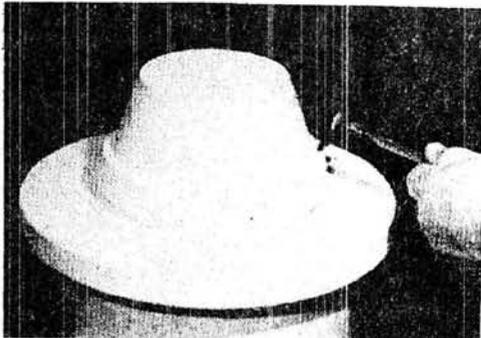


(a) Cilindro hidrostático para moldeo de muestras. (b) Montaje para obtener barras por prensado hidrostático
Fig. 24

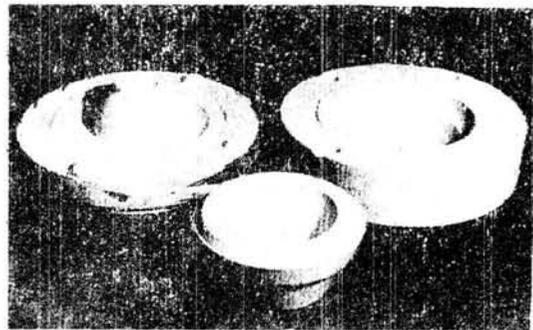
▪ Técnica de vaciado de barbotina

El vaciado con barbotina consiste en verter arcilla líquida, es decir, una suspensión espesa de uno o más materiales cerámicos disueltos en agua en un molde absorbente y hueco, después de unos cuantos minutos, la superficie interna del molde se recubre con una capa densa de arcilla. La arcilla se va espesando a medida que el molde absorbe el agua. Al lograr el espesor deseado en la capa de arcilla adherida, el exceso de líquido se extrae a través de los orificios de vertido. La capa de arcilla que queda se sigue secando y después de unos minutos, se despegará del molde al irse encogiendo. Las formas de tazas simples pueden vaciarse en moldes de una sola pieza o más, aunque las piezas complicadas y con cortes requieren moldes de dos, tres o más secciones.

Con la Revolución Industrial cambió drásticamente los métodos empleados en las instalaciones industriales, fue cuando empezaron a utilizar moldes de yeso para obtener una producción más rápida y poderlos trabajar en serie; por otro lado ya los chinos habían empleado estos métodos anteriormente.^[10] (Figuras 25-28)



La forma del modelo se refina con herramienta de corte completo. Fig. 25



Secciones superior e inferior de un molde. Fig. 26



Los moldes huecos y absorbentes se llenan con barbotina líquida de arcilla. Fig. 27

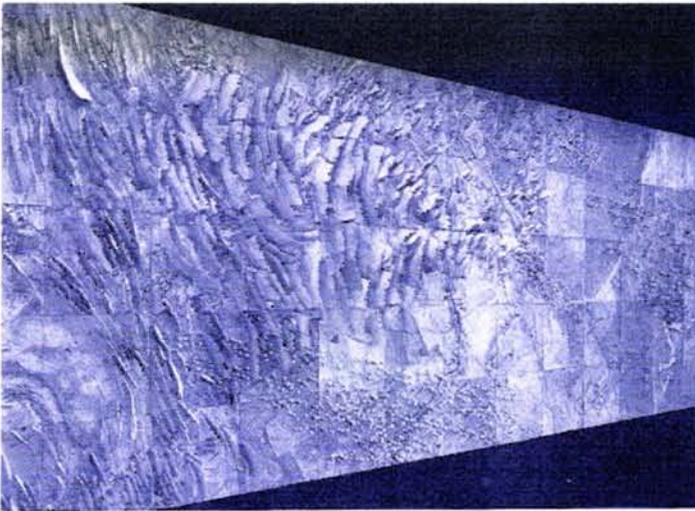


Forma en que se extrae una cremera vaciada en un molde de yeso de 3 secciones. Fig. 28

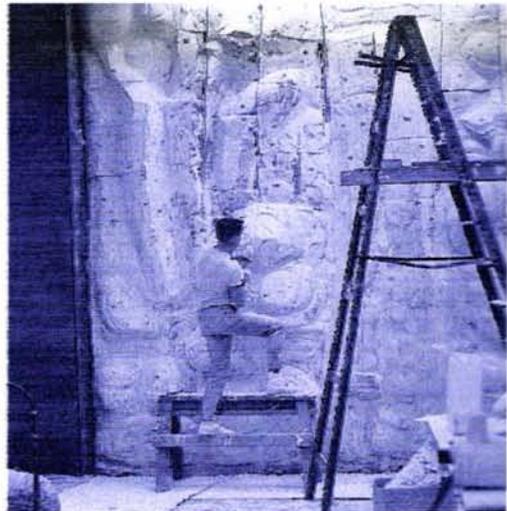
▪ Elaboración de murales y Esculturas

Ceramistas de todo el mundo diseñan paredes y murales de barro para residencias, centros comerciales, estaciones de metro y otras instalaciones, utilizando una serie de técnicas variadas, por ejemplo; Tom McMillin esculpió e instaló un mural realizado en calhidra blanca (una escayola dura especial) para el vestíbulo de un banco. Esculpió todo el mural in situ, lo dividió, encajó los trozos separándolos con metal y madera y los cubrió de calhidra. Los fragmentos del mural de barro texturizado los montó aparte para su instalación. (Figura 30)

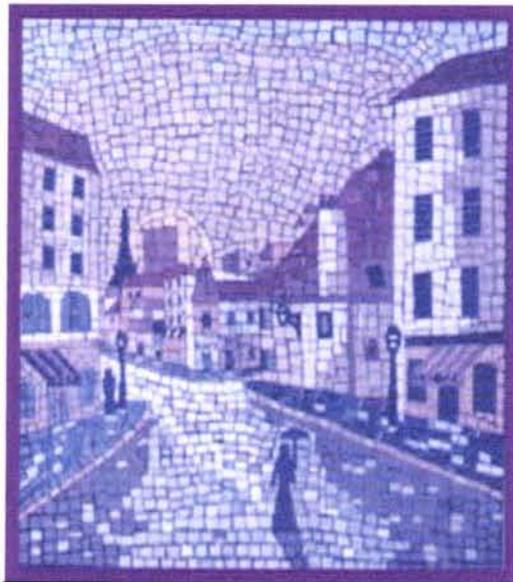
El mural de Ruth Duckworth, de 3.65 m de longitud, está hecho con cientos de planchas de barro modeladas a pellizco para dar relieve. ^[24](Figura 29)



Ruth Duckworth. Fig. 29



Tom McMillin. Fig. 30



Cuadro realizado con mosaicos vidriados, principios del siglo XX. Fig. 31

ESCULTURA

La escultura es el arte de modelar, tallar y esculpir en arcilla, piedra, madera, metal y otros materiales.



Arlequín; cerámica, barro coloreados; 159x90 cm., 1250-1270 °C.
Bárbara Cichočka. Fig. 32

C. EL TORNO

El torno se inventó y fue adaptado para su uso por alfareros en Mesopotamia, alrededor del 4000-3000 a.C. Al principio se utilizó una piedra de madera pivoteando en el suelo; esto permitía hacer las vasijas más rápidamente. La rueda se hacía girar empujándola o pateándola, su impulso era suficiente para posibilitar la construcción de vasijas.

Está técnica del uso del torno no solamente acelera la producción, sino que significa que la arcilla debe ser más plástica para permitir su conformación suave; también tuvo una gran influencia en la forma, pues todas las vasijas hechas por este método deben ser redondas y no se pueden hacer con curvas o con ángulos.^[9] (Figuras 33-36)



Pieza de arcilla torneándose. Fig. 33



Pieza de arcilla torneándose. Fig. 34



SSZ
Pieza torneada. Fig. 35



Dándole acabado a una pieza torneada. Fig. 36

Diferentes modelos de tornos

En el año 4000-3500 a.C. en Mesopotamia se desarrolla el torno del alfarero que aunque no era la máquina rápida y uniforme que hoy conocemos. La arcilla se coloca encima de una base móvil y se pivotea para permitir el giro más fácil. Se desarrolla el torno lento que es una pesada rueda de piedra o madera que se empujaba por su alrededor para hacer posible que las vasijas se construyesen sobre ella, más tarde se utilizaron ruedas libres y más rápidas, sin embargo el efecto incluso de las ruedas más sencillas fue considerable y las vasijas pudieron hacerse más rápidamente y con mayor uniformidad.

Utilizando los tornos como una técnica no solamente acelera la producción sino que tiene una gran influencia en la forma ya que se podían obtener vasijas redondas y de mayor tamaño aunque las formas fueron más estandarizadas, también hubo cambios en la decoración, se podían trazar bandas como decoración. A medida que se desarrolla la tecnología el torno se hizo más complicado, esto ayudaba a dar mejor acabado a las piezas como era el bruñir, la arcilla cuando aún no estaba completamente seca se frotaba con una piedra lisa o un guijarro, que comprimía y alisaba la superficie, dándole un atractivo brillo y haciéndola menos porosa y el brillo permanecía después de la cocción, otro método era recubrir la superficie de la vasija con un limo de arcilla fina, quitándole las partículas gruesas este método fue utilizado por los griegos en su cerámica pintada roja y negra, para decorarla así como para hacer la superficie más lisa.^[9]



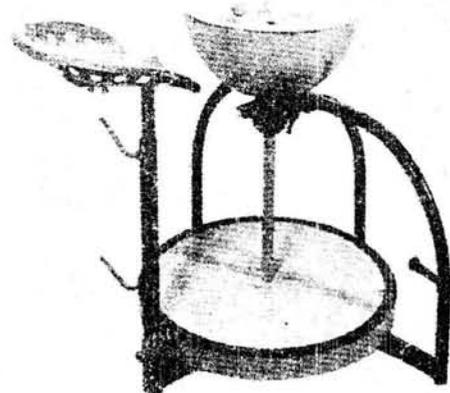
El dios Kum representado trabajando en un torno de coque. Fig. 37



Un alfarero indio haciendo girar la rueda de alfarero con un palo. Fig. 38



Torno de origen egipcio que con variantes se usa en nuestros días. Fig. 39



Torno de pie Randall. Estructura de acero soldado. disco hundido de aluminio de 9" (23 cm), cazo guardafango de aluminio de 19" (48 cm) asiento anatómico ajustable, rueda de impulsión de 28" (71 cm), peso 52 kilos. Fig. 40

D. HORNOS

El hombre al empezar a cocer la arcilla se da cuenta que necesitaba de un horno para obtener mejores resultados ya que con la quema a ras del suelo la arcilla se quemaba de manera desigual por lo que al principio hizo hornos sencillos pero con compartimentos separados.^[9]

• La cocción

La cocción es muy importante ya que por medio de ella, la arcilla se transforma en cerámica. Las primeras quemadas hechas por el hombre las hacían a ras del suelo o en piras que los alfareros le llaman a cielo abierto y consiste en colocar las vasijas apiladas, luego se cubren con hierbas, caña o estiércol y es un procedimiento que solo alcanza temperaturas bajas, además el color de las vasijas es afectado por las llamas y el humo produciendo resultados desiguales.

La cocción es un paso importante para la cerámica ya sea en el horno de leña, gas o eléctrico, es importante cocer lenta y uniformemente la arcilla, siguiendo una curva progresiva hasta alcanzar una temperatura máxima y enfriarla durante aproximadamente el mismo tiempo que se tardó en cocerse, la duración del ciclo lo determina el tamaño de la pieza, el espacio del horno, la clase de cerámica y algunas veces el tipo de horno.^[16]

Los cambios que se producen durante la cocción según Wilson son tres:

1. La deshidratación
 - a) evaporación de 20-150°C
 - b) deshidratación química de 150-650°C
2. Oxidación de 350-950°
3. Vitricación a 900°C o más seguida por fusión.

Algunos autores añaden un cuarto período, el enfriamiento como fase importante del horneado. Estos períodos varían en las diferentes arcillas y se traslapan según los materiales que estén presentes.

1. Deshidratación. Incluye la eliminación del agua retenida mecánicamente y no eliminada durante la operación del secado, el agua higroscópica absorbida del aire, el agua micelar y el agua de cristalización, retenida en la red de cristales a la presión normal, casi todos los minerales arcillosos ceden esta agua alrededor de 450°C. El máximo desprendimiento se verifica a los 500°C y siguen eliminándose vestigios de agua hasta la temperatura de 800°C.

2. Oxidación. Empieza aproximadamente a 300°C en la materia orgánica, continua a temperaturas más elevadas con la oxidación de los sulfuros y las formas duras de carbón y con la descomposición de los sulfatos.

Los compuestos de carbono tienen más afinidad por el oxígeno que los de azufre y tienen que eliminarse antes que estos. Es esencial que los compuestos de hierro sean

completamente oxidados porque a temperaturas elevadas se forman los silicatos ferrosos de bajo punto de fusión que pueden estropear el producto.

3. Vitrificación. Ries divide el período de vitrificación en tres fases:

a. Vitrificación incipiente, en que sólo se forma suficiente vidrio para aglutinar los granos.

b. Vitrificación completa, en que los espacios intermedios se llenan con el material fundido, pero la masa conserva su forma.

c. Fusión, en que el cuerpo se ablanda hasta el punto de que no sostiene su propio peso. Los productos cerámicos se cuecen en hornos para producir en ellos propiedades físicas adecuadas para los diferentes usos a que se destinan y la cocción debe producir un estado comprendido entre las dos primeras fases citadas o bien la segunda de ellas, pero si el producto ha llegado a sufrir el reblandecimiento se clasifica como sobre cocido.

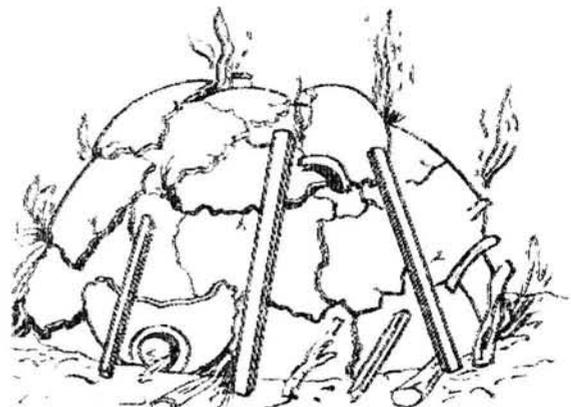
• Diferentes tipos de hornos

Los hornos de colina se les llama ascendentes, se alimentan por la base el calor sube a la parte superior y este tiene mejor control del calor y el fuego no toca los objetos pudiendo alcanzar mayor temperatura y mejor acabado de las piezas.

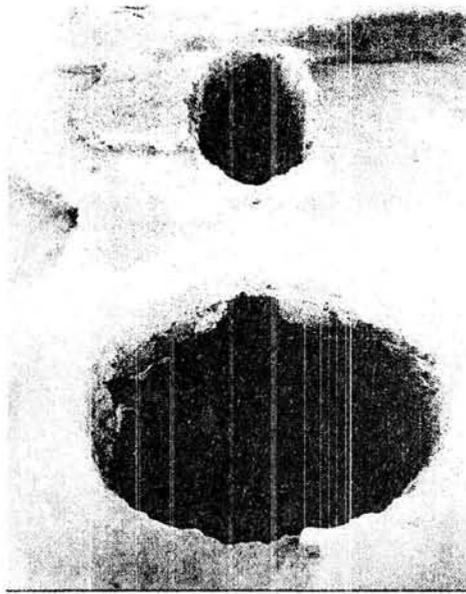
En china perfeccionaron los hornos, estos se construían en la ladera de una colina. Estos hornos eran largos y estrechos, la cámara de fuego estaba en la base, pero como el horno podía tener una longitud de hasta 45 metros se necesitaban compuertas adicionales para atizar el fuego en las secciones más altas. Las cenizas que caían en muchas de las piezas producían una superficie de tipo barnizado*. Para controlar mejor el calor, el horno fue dividido en cámaras, este fue el diseño que primero se uso en China, y después en Japón. Debido en parte al espacio ocupado por las cajas refractarias que contenían las piezas barnizadas, las cámaras de los hornos chinos eran de 4.5 metros de altura, los japoneses usaban este mismo método solo que sus cámaras eran más pequeñas aproximadamente de 1.8 metros pero tenían hasta 20 cámaras estos hornos han desaparecido aunque llegan a elevadas temperaturas debido al costo del combustible y al exceso de humo que producen.



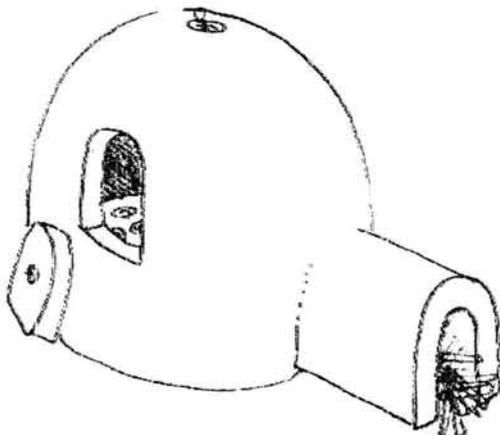
Forma de quema a fogata.
Fig. 41



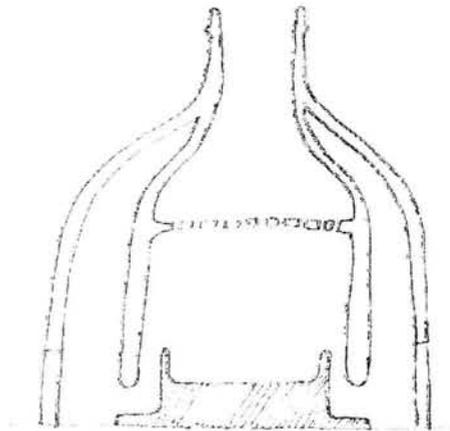
Fogata ayudada con cacharros para
concentrar el calor. Fig. 42



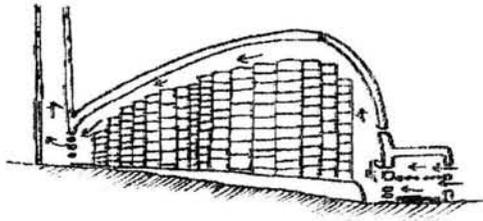
Hornos, separado el lugar del fuego con las piezas que se van a cocer, Museo de Banpo China, época neolítica. Fig. 43, 44



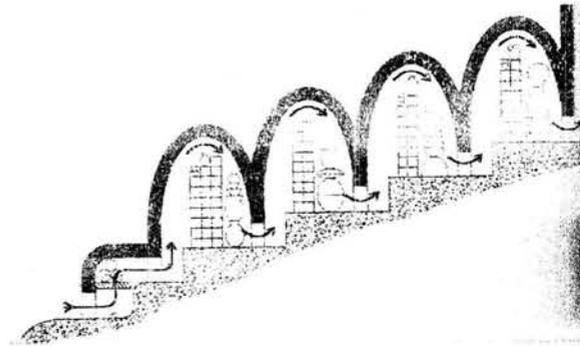
Horno Griego. Aproximadamente 500 Ac. Fig. 45



Horno de "chamizo" de Staffordshire, mostrando el hogar debajo, el compartimiento de vidriado en el centro y el de bizcochado* encima, 1770. Fig. 46



Horno chino de tiro cruzado, mostrando el hogar con rescoldo a la derecha; utilizado en Ching-te Chen. Fig. 47

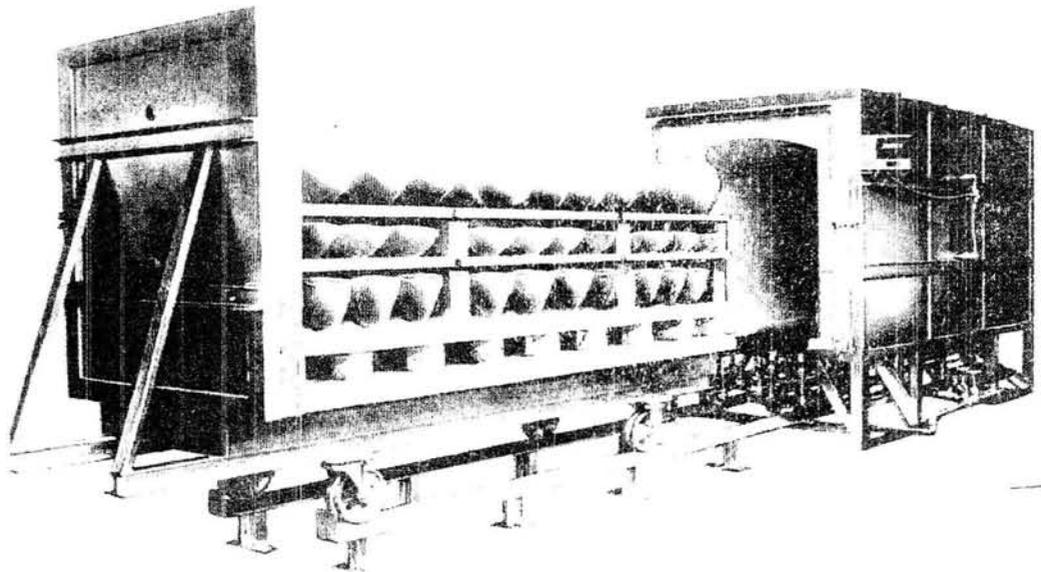


Horno japonés ascendente que emplea madera como combustible. Fig. 48

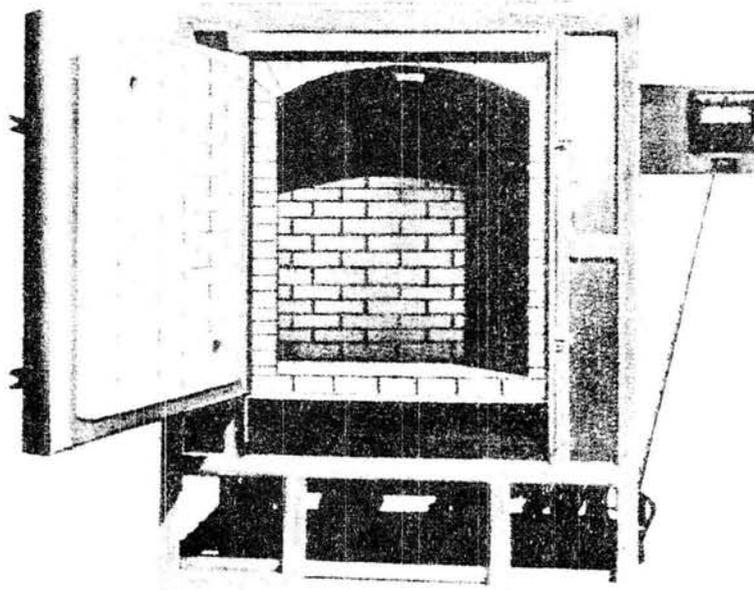
• Hornos modernos

Los tipos de horno utilizados por las civilizaciones antiguas todavía se usan en la actualidad aunque se han modificado para utilizar otros combustibles y hornear otros materiales y en el caso de la industria, para satisfacer las necesidades de una producción eficiente a gran escala. El cambio más drástico en el diseño de hornos en los tiempos modernos ha sido quizá el que sobrevino al existir una nueva fuente de energía: la electricidad. Puesto que el horno no necesita chimeneas ni tuberías de combustible y es relativamente portátil, simple y fácil de operar ha desempeñado un papel muy importante en la popularidad actual de la cerámica.

El tratamiento térmico resulta vital para el barro y el esmalte. Anteriormente los hornos los encendían o los trabajaban los que sabían leer el fuego. El ceramista experimentado aprende a ver si el horno está rojo por dentro y si tienen el mismo tono en la parte superior e inferior y no hay esquinas negras, distingue si la atmósfera es clara u opaca durante la cocción, la experiencia enseña que a algunas piezas de cerámica se les puede hacer una decoración de bizcocho* a baja temperatura o con esmalte a mayor temperatura; los ceramistas han de entender toda la gama y saber utilizar todas las diferencias. ^[16]



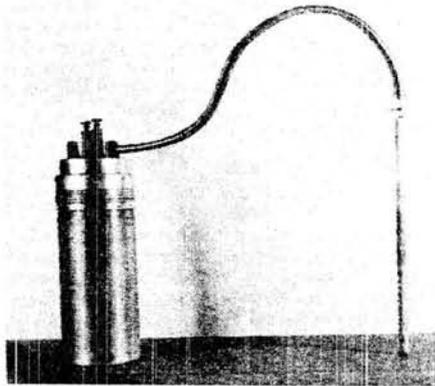
Horno moderno. Fig. 49



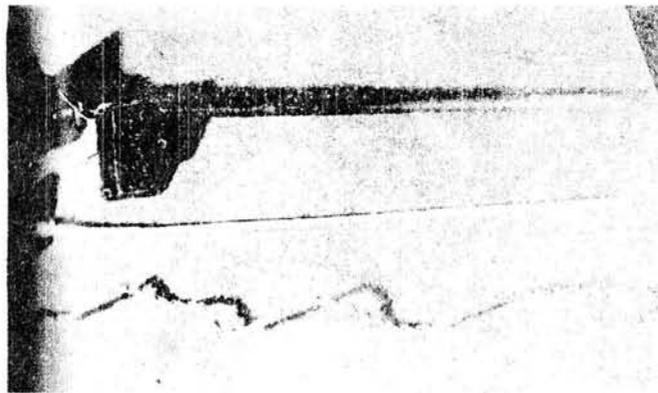
Horno de gas Alpine de fuego directo y tiro ascendente. Fig. 50

• Medición de las temperaturas del horno

Desde algunos años existen métodos mecánicos para medir la temperatura específica en puntos concretos del horno, durante la cocción. El más sencillo es el pirómetro un aparato que mide la temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), y que se coloca en la parte exterior del horno, se sujeta con hilos de plomo otro es el termopar (2 hilos enrollados colocados dentro del horno donde se registra la temperatura) y existen varios tipos de termopares para mayor temperatura estos son de platino o platino y rodio, hay los pirómetros digitales. Hay instrumentos electrónicos para moderar la temperatura indispensable en hornos industriales en donde el horno se programa para mantener la temperatura encenderla y apagarla.



Termopar de platino con un tubo protector de porcelana: su unión fría se halla en un termo. Fig. 51



Base de metal del termopar dispuesta para su uso con hielo. Fig. 52

E. MÉTODOS DE DECORACIÓN, VIDRIADOS O ESMALTADOS.

• Técnica de engobe

El engobe es un método de decoración sobre la superficie del objeto, se prepara la arcilla ablandada por agua y pasado por un tamiz, para hacerla suave con consistencia cremosa y con alto contenido de hierro.

Hay tres técnicas para aplicar el decorado de engobe sobre la pieza:

- 1.- Cuando la pieza esta tipo cuero
- 2.- Cuando la pieza esta seca
- 3.- Cuando la pieza está biscochada, es decir una cocida

La pieza decorada se somete a cochura quedando el color rojizo del hierro.

Mesopotamia la primera civilización conocida tenía una cerámica decorada a base de dibujos lineales sencillos e incisos. La cerámica encontrada en Samaria también contiene dibujos geométricos sencillos con pigmentos rojos, marrones y purpúreos sobre un engobe crema y mate. El engobe es la arcilla ablandada con agua y pasada por un tamiz para hacerla suave, generalmente tiene consistencia cremosa.



Dos cubiletes firmemente hechos con engobe y pintados procedentes de Susa, Persia aproximadamente 3500-2800 a. C. Museo Británico. Fig. 53

- **Técnica fayenza o pasta egipcia**

La técnica de Fayenza o pasta egipcia fue desarrollada por los mesopotámicos y consistía en mezclar la arcilla con un esmalte que se hacía juntando cuarzo pulverizado en forma de arena con un material alcalino conocido como flujo o fundente el cual ayudaba a fundir el cuarzo, también tenía cenizas de madera (que contiene óxidos de sodio y de potasio que ayudan a bajar los puntos de fusión de la sílice) obteniendo una superficie brillante al terminado de la pieza.^[7]



Jarra para agua, fayenza, Egipto (aproximadamente 2700-2100 AC) Fig. 54

- **Vidriado**

Otro avance de la cerámica fue el desarrollo del vidriado como resultado de los intentos de reproducir la piedra lapislázuli, altamente apreciada por su brillante color ultramar y su atractiva superficie, su presencia natural era rara y se hicieron esfuerzos para reproducirla sintéticamente tallando pequeñas cuentas de esteatita recubriendo la superficie con minerales pulverizados de surita o de malaquita calentándolas hasta que la superficie se fundía, formaba un vidrio simple, fue probablemente el comienzo del origen del vidrio y los vidriados.

Fue un descubrimiento importante y fue durante el 2000-1000 a.C. que se produjo vidrio que pudiera trabajarse mientras aún estaba caliente y fluido se empezó a agregarse óxidos que daban color, el óxido de cobre dando un color turquesa, el óxido de cobalto un color azul oscuro, el óxido de estaño para dar blanco opaco, ya fundían el vidrio y a la vez añadían plomo aumentando el brillo se reducía la contracción cuando se enfriaban las piezas esto fue un paso adelante ya que se lograba que el vidriado permaneciera sobre la superficie de la arcilla. Los azulejos decorados con vidriados de plomo fueron utilizados para construir muros en Babilonia.^[7]

Estos vidriados fueron utilizados primero en ladrillos para paredes más tarde en vasijas. Alrededor del año 2000 a.C. se hizo un verdadero vidrio fundiendo juntos arena, cuarzo y fundentes alcalinos, no fue moldeado o soplado mientras estaba líquido o en caliente sino tallado y pulido cuando estaba sólido



Muro de ladrillo (detalle) de la calle de la procesión, Palacio del rey Nabucodonosor II, Babilonia, siglo VI a. de C. Terracota* con barniz de estaño en azul y amarillo, Museo Metropolitano de Arte, Nueva York. Fig. 55

- **Vidriados de celedón**

Son los vidriados que contienen hierro, que al someterse a diferentes temperaturas en el horno en una atmósfera reductora le dan a las piezas un color verde que va desde el verde oliva, hasta el verde pálido.

- **Técnica de bajo y sobre vidriado**

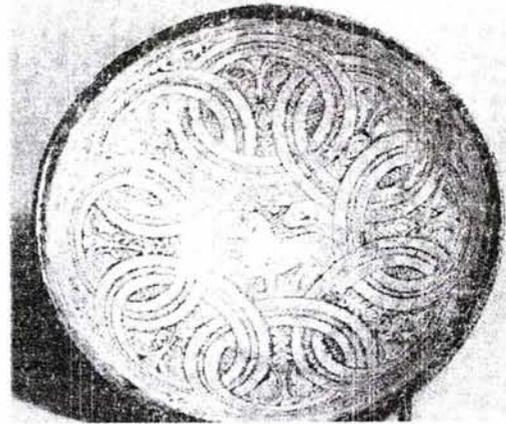
En china en la dinastía Ming se manufacturaba ya porcelana blanca y se empezó a usar la técnica de pintar bajo y sobre vidriado, sobre cochura en el primero se decora la pieza después se sumerge sobre el vidriado y después se vuelve a meter al horno, a temperatura de más de 1000°C, en el segundo caso la pieza cocida y vidriada se decora sobre el vidrio y se somete a una nueva cochura pero a una temperatura más baja de 700 °C.

Una de la innovaciones técnicas más importantes y que aún perdura fue el desarrollo del rojo vivo, logrado por la reducción del cobre con un fundente alcalino, logrando colores rojos que iban desde el salmón hasta el rojo púrpura oscuro, esto fue alrededor de 1426-1435 d .C.

Los chinos en 1680 ya producían gran cantidad de porcelana manteniendo un elevado estándar de manufactura y calidad y el acabado se mantenía cuidadosamente. Una diferencia entre los objetos Chinos y los del Islam fue que ellos utilizaron la técnica del esgrafiado que consiste en raspar el motivo decorativo a través del engobe de arcilla de color contrastando, corrientemente blanco para mostrar el oscuro.^[21]



Los diseños de esgrafiado se tallan a través de un engobe. Fig. 56



Cuenco con esgrafiada a través de engobe blanco mostrando el cuerpo oscuro, recordando el trabajo de grabado de metal. Borde coloreado de verde. Siglos XII o XIII, Museo Cambridge.

Fig. 57

• Técnica de vidriado a la sal

El vidriado a la sal se utilizó por primera vez alrededor de los siglos XIV y XV después del descubrimiento de las pastas duras de porcelana fue la contribución más importante de Alemania al arte de la cerámica.

La pieza sometida a cochura reacciona con la sal (cloruro de sodio) que se agrega al horno cuando se está terminando la cocción, se descubrió que a la temperatura 1200 °C el cloruro de sodio se volatiliza descomponiéndose en cloro y sodio. el sodio se combina con la superficie de la arcilla para producir un vidriado que es tenaz y resistente, ocasionalmente el vidriado así formado es liso y marrón, otras veces tiene la superficie parecida a la piel de la naranja, algunas veces es moteada de marrón a crema.^[7]



Jarra vidriada a la sal con aplicaciones de decoración en relieve y adornos incisos, realizados con azul cobalto. Staffordshire, aproximadamente 1770, (Victoria and Albert Museum, Londres). Fig. 58

- **Cerámica lustre***

Los barnices de lustres consisten en una capa delgada de un metal decorativo que se quema encima de un barniz de plomo-estaño. Este recubrimiento se logra aplicando una solución de resina de pino, nitrato de bismuto y una sal metálica, disueltos en aceite de lavanda, sobre un barniz quemado. El lustre se quema con calor al rojo oscuro, lo suficientemente caliente para fundir el metal y eliminar la resina, pero más bajo que el punto de fusión del barniz original. Se obtienen así una gran variedad de lustres rojos, amarillos, cafés y plateados, así como acabados iridiscentes y nacarados. Los metales comúnmente empleados son acetatos de plomo y zinc; sulfatos de cobre, manganeso y cobalto; nitrato de uranio y compuestos de plata y oro. El fundente es por lo general bismuto. Hasta el año 1529, se creía que el bismuto era una forma impura de la plata y, por lo tanto, la plata que se menciona en algunas formulaciones antiguas es probablemente un compuesto de plata-bismuto.

Por lo general, el lustre no es un recubrimiento total, sino que se aplica en forma de un diseño combinado con engobes coloreados o pigmentos. Esto es particularmente cierto en la alfarería islámica, que, debido a los edictos religiosos que prohíben las pinturas representativas, desarrollaron los diseños intrincados y entrelazados que se emplearon entre los siglos IX y XIV.^[21]

- **Calcomanías**

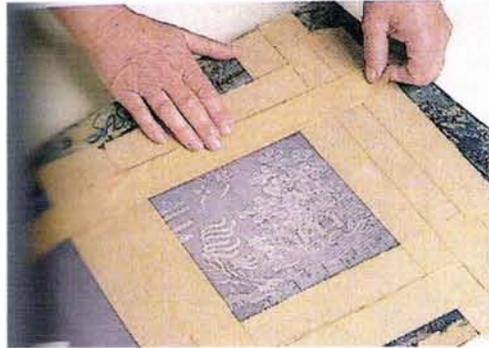
Cuando se inició la producción en masa en 1753 había que buscar un método de decoración más rápido, se pensó en producir los dibujos detallados y a estos se les aplicaban los colores. Se colocaba a un papel engomado y se transfería a la pieza que ya estaba cocida y vidriada, se volvían a meter las piezas al horno a una temperatura de unos 700 °C para que se fundiera el decorado de la calcomanía, a este método se le llama calcos. Hoy en día se sigue usando este método, aplicándose las calcomanías, tanto bajo como sobre vidriado.^[25]

- **Serigrafía y pigmentos**

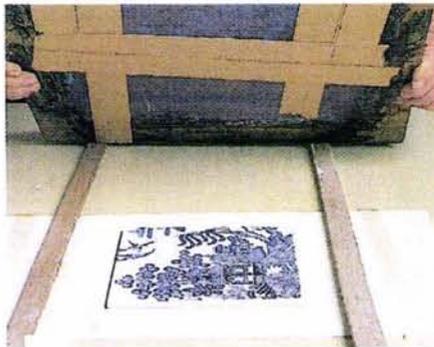
La impresión con serigrafía puede hacerse utilizando pigmentos distintos al engobe cuando la arcilla esta húmeda, en el ejemplo siguiente se uso color bajo vidriado negro, mezclando con un material para imprimir con pantalla de base acuosa, a fin de imprimir directamente sobre una plancha lisa de arcilla húmeda o a dureza de cuero, el color se fusiona primero con una espátula hasta lograr una pasta uniforme y pegajosa. La experiencia le dictara lo denso que debe ser el color: no demasiado viscoso, pero si lo bastante claro para que pase a través de la rejilla la imagen musical se hizo con el proceso fotográfico con malla de seda.



Se mezcla colorante sobre el vidriado con agua. Fig. 59



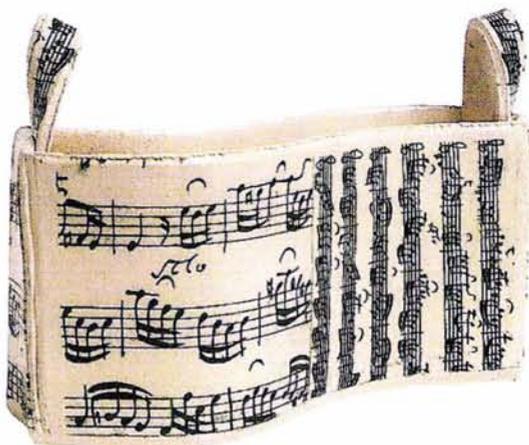
La imagen de la pantalla se pega con la cinta de papel engomado que se emplea para tensar el papel de acuarela. Fig. 60



Se utilizan palos para subir la rejilla por encima del azulejo para que pueda levantarse después de aplicar la tinta con la espátula de caucho. Fig. 61



Mesa de jardín con diseños de sauce, obra de Jo Connell, mide 61cm de diámetro y 91 cm de altura, los azulejos se cortaron y se redistribuyeron como un mosaico. Fig. 62



Onda musical, obra de Jo Connell, realizada con un vidriado transparente mate satinado. Fig. 63

III. MATERIAL CERÁMICO

A. LAS ARCILLAS

Desde el inicio de la primera escuela de Diseño Industrial la “Bauhaus”, se sentaron las bases para los futuros diseñadores industriales; su principal finalidad fue aumentar la fuerza de expresión creativa del alumno, la filosofía de los cursos del profesor Johannes Itten fue “la captación de las propiedades de los materiales más diversos, comprender su naturaleza y su estructura, la diferencia entre uno y otro, y por lo tanto, la relación y las posibilidades de combinación de las formas”. Esto indica la importancia del estudio de los materiales básicos para objetos cerámicos. ^[30]

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados; desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales, filosilicatos en su mayoría, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 μm). Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 μm ; para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas. ^[1]

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, mayoritariamente, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, se hidrolizan en el medio exógeno. Las importantes aplicaciones industriales de las arcillas radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm).
- Su morfología laminar.
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores presentan un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interactuar con diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hincharse, con lo que se da el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas. ^[1]

- **Clasificación por su origen geológico**

1. **Arcillas primarias o residuales.** Formadas en el mismo sitio de origen de la roca madre, ya sea a nivel superficial o en la profundidad. Por lo general sólo los caolines pertenecen a este grupo, de ahí que la mayoría de éstas estén compuestas por caolinita y no contengan otro mineral arcilloso.
2. **Arcillas secundarias o sedimentarias.** Estas arcillas son arrastradas y depositadas lejos de la roca matriz de que proceden, depositándose por la acción posterior del agua, por lo cual suelen ser arcillas de partículas extremadamente finas, teniendo por lo tanto una gran plasticidad. Por lo general están mezcladas con otros materiales, entre ellos: sílice, feldespato y óxido de hierro en mayor o menor porcentaje, esta mezcla es justamente la que produce diferentes tipos de arcillas o variaciones de la misma arcilla en un mismo yacimiento.

- **Clasificación según su composición química según Seger ^[28]**

- a) **Especies arcillosas, ricas en tierra arcillosa y pobres en hierro.**
 - Caolín.
 - Arcilla refractaria.
 - Arcilla de bolas (ball clay).
- b) **Especies arcillosas, ricas en tierra arcillosa y con un mediano contenido de hierro.**
 - Arcilla refractaria para gres, loza y piedras refractarias.
- c) **Especies arcillosas, pobres en tierra arcillosa y ricas en hierro.**
 - Arcilla roja.
 - Arcilla de ladrillos y tejas.
- d) **Especies arcillosas, pobres en tierra arcillosa, y ricas en hierro y en cal.**
 - Arcillas rojas.
 - Arcillas margosas. ^[28]

- **Clasificación por su uso según Norton ^[22]**

A. Arcillas de calcinación blanca (Empleadas en objetos blancos).

- Caolines:
 - a) Residuales.
 - b) Sedimentarios.
- Arcillas grasas.

B. Arcillas refractarias (con punto de fusión superior a 1600°C pero no necesariamente de calcinación blanca).

- Caolines (sedimentarios).
- Arcillas refractarias:
 - a) De pedernal.
 - b) Plásticas.

C. Arcillas de productos arcillosos pesados, son de baja plasticidad y contienen fundentes.

- Arcillas y pizarras para ladrillos de pavimentación.
- Arcillas y pizarras para tubos de desagüe.
- Arcillas y pizarras para ladrillos y tejas huecas.

D. Arcillas para grés (plásticas, con fundentes).

E. Arcillas para ladrillos (plásticas, con óxido de hierro).

- Arcillas de terracota (barro).
- Ladrillos de fachada y comunes.

F. Arcillas fácilmente fusibles (con más óxido de hierro).^[22]

- **Clasificación según su plasticidad**

1. **Arcillas grasas.** Son arcillas que se perciben como grasosas al tacto, debido a su partícula fina son muy plásticas por lo cual absorben una gran cantidad de agua para poder ser trabajadas, ocasionando un fuerte encogimiento al secarse.
2. **Arcillas magras.** No son de grano tan fino como las anteriores por lo que su plasticidad es menor, así como su encogimiento.^[22]

C. PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS

Las arcillas para ser utilizadas como material cerámico se deben de tomar en cuenta sus propiedades como son:

GRUPO I: Composiciones:

- a) Composición mineralógica: tipos y proporciones relativas de especies minerales;
- b) Composiciones físicas: tamaños de partícula, distribución, y forma de las partículas de cada mineral;
- c) Composición química.

GRUPO II: Propiedades o factores derivados del grupo I:

- a) Fenómenos de adsorción;
- b) Las características de empaquetamiento y estructura.

GRUPO III: Aquellas propiedades físicas controladas por a), o por a) y b) del grupo II:

- a) Resistencia en seco;
- b) Contracción en el secado;
- c) Plasticidad;
- d) Características de flujo;
- e) Estabilidad de las suspensiones;
- f) Comportamiento en el secado;
- g) Permeabilidad; y otras.

D. ENSAYOS PRELIMINARES SOBRE DEPÓSITOS DE ARCILLA NATURAL

Cuando se encuentra un depósito de material arcilloso, deben realizarse ensayos previos y tomar en cuenta sus propiedades para determinar sus posibles aplicaciones y usos.^[2]

• Inspección visual y de textura

El color de la arcilla cruda no siempre da una indicación clara del de la arcilla cocida. La mayoría de las arcillas blancas o de color crema en crudo, conservan este color en la cochura. Una arcilla muy oscura puede volverse blanca en la cochura. La mayor parte de las arcillas amarillas se mantienen así tras la cochura, y otras arcillas coloreadas pueden cambiar su color en este tratamiento.^[2]

El color no define directamente el uso de una arcilla, pues aunque los objetos finos son predominantemente blancos, muchos bellos artículos de arte tienen un color intenso; de modo semejante, aunque los productos de arcilla pesados se fabrican generalmente a partir de arcillas rojas o amarillas tras la cochura, los refractarios son a menudo de color muy claro.^[37]

Muchas pastas y vidriados cerámicos son blancos, constituyendo la presencia de color un signo de impurezas o de cochura incorrecta. Puede requerirse la inspección visual para eliminar piezas desfiguradas. Por otra parte, las piezas coloreadas, dan ciertas divergencias respecto al color deseado son índices de cochura incorrecta, como en el caso del núcleo negro en los ladrillos rojos.

Se debe a la naturaleza de la fabricación cerámica el que sea difícil producir grandes cantidades de piezas de color idéntico, y puede requerirse una comprobación y selección más o menos exacta de acuerdo con la aplicación. Esto puede comprender desde la selección a mano de ladrillos multicolores para fachada a fin de producir un efecto de conjunto regular, hasta la coincidencia exacta requerida para baldosas de pared y material sanitario.^[2]

La textura de la arcilla cruda será útil solamente si es blanda con la cual la finura relativa puede apreciarse al tacto. Sin embargo, muchos materiales de grano fino se presentan en masas duras que han de molerse antes que se puedan determinar sus propiedades.

• Tamizado

El tamizado es un proceso estadístico, esto es, existente siempre un elemento de probabilidad en cuanto a si una partícula puede pasar o no a través de una abertura dada. Únicamente puede conseguirse reproducibilidad normalizando el tiempo y el método de tamizado.

Pueden determinarse todas las proporciones de partículas más gruesas pasando la mezcla a través de una serie de tamices. Los tamices son de alambre, seda o filamento de nylon. El número del tamiz es el número de hilos por unidad lineal. Como los distintos tipos de hilo

son de espesor diferente, puede variar la abertura real. Por ello es necesario establecer la especificación exacta del tamiz. ^[10]

A fin de eliminar el elemento humano en el tamizado existe cierto número de dispositivos mecánicos de agitación o vibración para la realización de los análisis de tamizado. Estos soportan un juego de tamices de ensayo clasificados junto con un fondo y una tapa, y vibran durante un tiempo dado en una forma reproducible. Se accionan por medio de un motor de potencia menor de un caballo. ^[10]

El tamizado en húmedo es preferible al tamizado en seco, especialmente para partículas finas. En el tamizado en seco debe tenerse un gran cuidado de utilizar material realmente seco a fin de impedir toda formación de bolas, en cuyo caso puede perderse polvo.

Es útil triturar la arcilla sin moler las partículas individuales y tamizarla. Si la mayor parte de ella queda sobre el tamiz de 18 mallas por pulgada, es improbable que el material contenga mucha sustancia de arcilla y es útil solamente para fines especializados en cerámica. Si queda un pequeño residuo sobre el tamiz de 18 mallas y residuos apreciables sobre los tamices de 60, 100 Y 200 mallas, el material será probablemente adecuado para productos cerámicos bastos y una vez molido puede ser bueno para productos finos. Un material con menos de 3% de residuo en el tamiz de 200 mallas y de 0.5% sobre el tamiz de 325 mallas (EUA.) tiene un grano fino y es adecuado probablemente para artículos de calidad selecta. ^[22]

▪ Superficie específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes; por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

Los valores de superficie específica de diferentes arcillas son:

Caolinita de elevada cristalinidad: hasta $15 m^2/g$

Caolinita de baja cristalinidad: hasta $50m^2/g$

Halloisita: hasta $60 m^2/g$

Illita: hasta $50 m^2/g$

Montmorillonita: 80 a $300 m^2/g$

Sepiolita: 100 a $240 m^2/g$

Paligorskita: 100 a $200 m^2/g$

▪ Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas, esta propiedad se debe a que el agua forma una "envoltura" sobre las partículas laminares, produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.^[27]

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mineral arcilloso, en función del catión de cambio.

En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de la partícula y al grado de perfección del cristal. En general, entre más pequeña es la partícula y más imperfecta su estructura, el material es más plástico.^[27]

La plasticidad se puede comprobar por un ensayo de plasticidad en crudo, por ejemplo mezclando agua gradualmente por amasado a mano con la arcilla pulverizada y haciendo una estimación de la plasticidad, esto es, nula, pobre, mediana, buena o excepcional.

• **Medida de plasticidad**

La plasticidad es de gran importancia en las arcilla. El operario experimentado puede decir exactamente si una arcilla es plástica o no, pero es necesario medir otras propiedades de la arcilla y correlacionarlas con la plasticidad. Teniendo en cuenta la complejidad de la propiedad denominada plasticidad se verá claramente que es totalmente insuficiente la medida de una sola propiedad.^[6]

La plasticidad está influenciada por: 1) origen de la arcilla; 2) tipo de arcilla; 3) cantidad de trabajo que ha recibido la mezcla; 4) tiempo de contacto de arcilla y agua; 5) temperatura; 6) cantidad de agua; 7) presencia de electrólitos.

Ciertas medidas se hacen sobre las arcillas mientras uno de estos factores, usualmente el contenido de agua, está siendo alterado. De este modo pueden construirse gráficos y obtenerse un cierto valor óptimo. Para otras medidas se lleva inicialmente la arcilla a su facilidad de manipulación máxima por alteración de los diversos factores guardándose los registros cuidadosamente del tratamiento dado. La facilidad de trabajo máxima por sí misma está pobremente definida, por ejemplo para fines prácticos puede decirse que una pasta ha alcanzado su plasticidad máxima cuando al comprimirla en la mano retiene una impresión de las líneas finas de ésta sin ser pegajosa y sin hacer que queden partes en la mano.^[6]

- **Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia coloidal, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas, cuando son amasadas, se convierten en un verdadero líquido. Se les debe dejar en reposo, para recuperar la cohesión y el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico. [28]

- **Capacidad de intercambio catiónico:**

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. Esto significa que pueden captar ciertos cationes (Sodio Na^+ , Potasio K^+ , Amonio NH_4^+ , Calcio Ca^{2+} , Magnesio Mg^{2+} , etc) y aniones (Sulfatos SO_4^{2-} , Cloruros Cl^- , Fosfatos PO_4^{3-} , Nitratos NO_3^- etc) y retenerlos en un estado intercambiable, es decir que esos iones pueden intercambiarse por otros cationes o aniones si los minerales de arcillas son tratados con una solución acuosa de dichos iones. [2]

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se pueden definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede absorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.

Los valores de capacidad de intercambio catiónico se expresan en miliequivalentes (meq/100 g):

- Caolinita: 3-5
- Halloisita: 10-40
- Illita: 10-50
- Clorita: 10-50
- Vermiculita: 100-200
- Montmorillonita: 80-200
- Sepiolita-paligorskita: 20-35

- **Capacidad de adsorción:**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los adsorbentes ya que pueden adsorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminares (esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de adsorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y existen dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La adsorción de agua de las arcillas adsorbentes es mayor del 100% con respecto al peso. ^[6]

- **Hidratación e hinchamiento:**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y su importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

Cuando el catión interlaminar es de sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen calcio Ca^{2+} o magnesio Mg^{2+} como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida. ^[31]

- **Secado y cochura**

Si estos ensayos preliminares indican que una arcilla puede resultar adecuada para la industria cerámica, es muy útil realizar ensayos de secado y cochura antes de entrar en una investigación detallada. Se moldean pequeñas barras y se observan durante el secado y la cochura para detectar contracción, agrietado y deformación excesivos, formación de espumas, hinchamiento y color tras la cochura. Entonces debe decidirse si una arcilla que presenta defectos merece ser mejorada por ciertos tratamientos o es preferible mezclarla con otras arcillas. ^[22]

- **Toma de muestras**

La composición y la naturaleza de un depósito de material con frecuencia varían considerablemente al profundizar o avanzar a lo largo de una misma capa. Por lo tanto, el método de toma de muestras de la arcilla para investigación debe adaptarse al tipo de resultado que se requiere y debe formar parte del informe final. Los ensayos realizados sobre muestras tomadas directamente de las capas de arcilla se refieren solamente de hecho a las propias muestras, a no ser que se hayan tomado precauciones adecuadas para hacerlas representativas del total. Por ejemplo, si se desean investigar las variaciones en una capa se toman pequeñas muestras de lugares muy separados pero regularmente espaciados, y se

analizan individualmente. Si han de comprobarse cambios en las propiedades medias, se toman muestras pequeñas a intervalos regulares durante el día y se mezclan para formar una muestra global cuyas propiedades se comparan con las de muestras globales similares tomadas, por ejemplo, a intervalos de una semana. [28]

Para la mayoría de los propósitos las muestras de arcilla crudas deben pesar aproximadamente 100 libras (45,3 kilos) de tal modo que puedan realizarse varios ensayos hasta doce muestras parciales para cada uno.

- **Determinación del tamaño de grano**

Muchas de las propiedades de las arcillas están relacionadas con el tamaño de partícula y la distribución de tamaños de sus constituyentes. El tamaño de partícula determina la superficie y por lo tanto la relación con el agua que ocasiona la plasticidad y la viscosidad, y la contracción. En la superficie se produce adsorción de iones, la partícula adquiere carga y afecta a otras partículas. [1]

La distribución de los tamaños de la partícula determina la contracción de las partículas y está relacionada con la plasticidad, resistencia en seco, y porosidad. El relleno más denso de esferas de tamaño uniforme que es independiente del tamaño real tiene una porosidad de 25,95%. Por relleno de los espacios vacíos con esferas de tamaño cuatro veces menor la porosidad se reduce a 14,9% y con tamaños todavía más finos puede llevarse a 3,9%.

Incluso en los casos en que las partículas no son esferas un adecuado campo de tamaños proporciona un relleno más compacto, y se ha propuesto una distribución ideal. Aunque muchas propiedades de la arcilla están relacionadas con el tamaño de partícula, desgraciadamente no son funciones lineales. [1]

Esta falta de linealidad de las propiedades de las arcillas con los tamaños de partícula hace esencial controlar los tamaños y su distribución en un producto industrial, puesto que las variaciones pueden dar lugar a resultados imprevisibles.

Otro factor importante muy influenciado por el tamaño de partícula es la temperatura de cochura. Las interacciones en el material cerámico caliente se producen principalmente entre sólidos; por consiguiente se ven muy favorecidas por el contacto íntimo obtenido con partículas finas y pueden producirse a temperaturas más bajas. Por ello la densidad tras la cochura está también relacionada con el tamaño de partícula original. [1]

Las arcillas deben ponerse primeramente en suspensión en agua, con lo cual las partículas se separan adecuadamente unas de otras sin que se produzca división adicional.

- **Dispersión de la arcilla cruda**

Las partículas individuales existentes en la arcilla deben separarse sin romperlas. Por esta razón deben dispersarse en un medio acuoso que impide la coagulación. A fin de eliminar

los iones coagulantes extraños se utiliza agua destilada. Se agrega un agente dispersante que actúa sobre el pH, por ejemplo, carbonato sódico, sosa cáustica, amoníaco, silicato sódico (vidrio soluble), oxalato sódico, pirofosfato sódico, citrato potásico. Las arcillas individuales dan resultados diferentes con los distintos agentes dispersantes, no careciendo de importancia las cantidades que se incorporan. En ciertos casos una dispersión correcta se consigue solamente en un intervalo limitado estrechamente. La solución preferible es realizar unas cuantas pruebas de tanteo a fin de encontrar el agente dispersante óptimo en todo el campo. En general parecen ser los más favorecidos el oxalato sódico y el pirofosfato sódico. ^[16] La dispersión se logra por agitación prolongada, o por agitación y calentamiento, o por ebullición (media hora). La materia orgánica, puede eliminarse por tratamiento con peróxido de hidrógeno o con ácido clorhídrico diluido, no afectando a la determinación de la granulometría.

• Moldeabilidad

Hay tres etapas en el ensayo de una arcilla, o pasta, en cuanto a moldeabilidad.

1. Desfloculación, la determinación del agua y de las adiciones desfloculantes* óptimas para producir una pasta fluida que mantenga en suspensión los materiales no plásticos sin dependencia de la tixotropía.
2. Características de flujo, se refieren especialmente a la comprobación de que la suspensión no es tan tixotrópica y puede ser vaciado en moldes*.
3. Velocidad de solidificación, facilidad de separación del molde y su resistencia.

Estos ensayos son generalmente de una naturaleza empírica, derivados directamente de las condiciones de fábrica. Aunque la velocidad de moldeo se ensaya usualmente en moldes de escayola. ^[16]

• Granulometría

La granulometría tiene una gran influencia en las reacciones en estado sólido, ya que en cuanto mayor es la superficie tanto más rápida es la reacción, y similarmente en las reacciones sólido-liquido. Por lo que es de máxima utilidad en el conocimiento de la superficie.

La clasificación por tamaños de grano influye en la densidad de relleno, la resistencia mecánica y la porosidad. Hay, por lo tanto, dos aspectos que atender:

1. Diámetros
2. Superficie

E. PRUEBAS FÍSICAS QUE DEBEN REALIZARSE A LAS ARCILLAS

• Contenido de Humedad

A las arcillas se le agrega agua que interactúa con ellas impartiendo plasticidad, de esta humectación dependen las características del producto obtenido mismas que son específicas para cada pieza, de ahí la importancia de llevar un adecuado control analítico para lograr homogeneidad y poder cumplir con las especificaciones de cada artículo de cerámica. Procedimiento: la muestra debe pesarse y secarse en una estufa a 110°C enfriarse paulatinamente en un desecador y pesarse nuevamente para determinar el por ciento de humedad. [14]

• Comportamiento térmico

El comportamiento térmico de las materias primas, mezclas y productos cerámicos, es de un interés considerable en un cierto número de campos que comprenden desde la investigación de relaciones de fase hasta la necesidad práctica de refractarios que permanezcan sólidos a temperaturas elevadas y a la exigencia de disponer de fundentes de baja temperatura de fusión. [36]

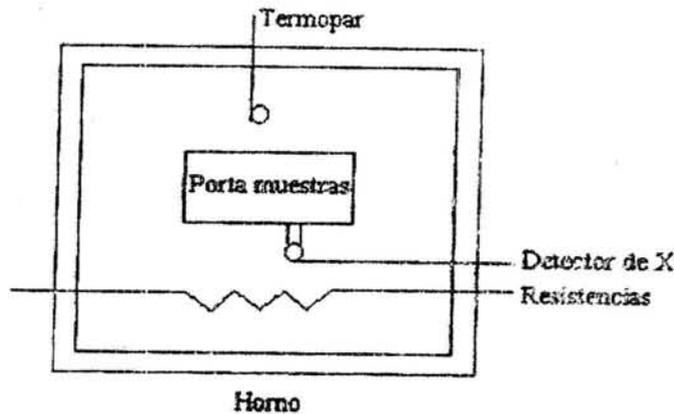
Muchos cerámicos carecen de punto de fusión definido, y en su lugar presentan progresivamente sinterización* seguida de reblandecimiento, el cual aumenta hasta llegar a la fusión. Pueden realizarse muchos ensayos empíricos calentando el material conforme a un programa de cochura similar a aquel para el cual se requiere y apartando muestras a intervalos. Para muchos cerámicos es también útil el ensayo calor-trabajo del cono pirométrico equivalente (C. P. E.). Estas pruebas también pueden realizarse con el análisis térmico diferencial (D. T. A.). Que son un grupo de técnicas instrumentales, en las cuales una propiedad física de la sustancia en estudio (muestra) es sometida a un programa de control de Temperatura”, esta definición la emitió el Comité de Nomenclatura de la Confederación Internacional de Análisis Térmico (CIAT), en 1969. Por otra parte, Wendland afirma que los métodos de análisis térmico son técnicas en las cuales se registra algún parámetro físico de un sistema como función dinámica de la temperatura. [18]

F. ANÁLISIS TÉRMICO

En el análisis térmico convencional se miden simultáneamente tres parámetros básicos: la temperatura de la muestra (T), usando un termopar, el tiempo (t) mediante el su uso de un cronómetro y la propiedad física X, la cual depende de la técnica seleccionada, usando un medidor específico para X. (Figura 58)

Existen dos técnicas termoanalíticas importantes:

Análisis Térmico Diferencial (ATD) y Análisis Térmico Gravimétrico (ATG).



Esquema General de un equipo de Análisis Térmico Fig. 64

• Análisis Térmico Diferencial (ATD)

El fundamento del ATD se conoce desde fines del siglo pasado, siendo Le Chatelier en 1889 quien en un horno de combustión de su propio diseño obtuvo la primera curva termo diferencial de una arcilla

De forma general el ATD consiste de un horno en el cual se calientan dos sustancias bajo las mismas condiciones, una de ellas (muestra problema) capaz de presentar cambios físicos o químicos con la temperatura; (muestra de referencia) es térmicamente estable (inerte) en el intervalo de temperatura que se requiere para realizar el estudio. Cuando se produce alguna reacción o cambio físico, se establece una diferencia de temperaturas entre las muestras. Esta diferencia, se mide como una función del incremento o decremento de la temperatura del portamuestra, a medida que la temperatura se eleva uniformemente. De este modo se tiene que:

$$\text{Variación} = f(a) \dots (1)$$

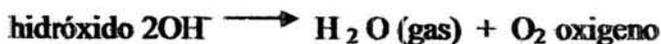
También es posible que la diferencia de temperatura se registre como una función del tiempo (dl / dt) si se cumple que el horno se calienta a una velocidad constante.

La diferencia de temperatura entre la muestra que experimenta cambios y el material de referencia, térmicamente estable, se debe esencialmente a:

Reacciones endotérmicas. Absorben calor durante su transcurso. Por ejemplo en las arcillas tales reacciones se deben a la evaporación del agua generada por la deshidratación.



O bien a la deshidratación de las láminas, grupos OH estructurales



A cambios de fase o transformaciones polimórficas.

Reacciones exotérmicas. Ceden calor al llevarse a cabo. Tales efectos se producen en la combustión de compuestos orgánicos, oxidación de sulfuros, desarrollo de nuevas fases cristalinas, nucleación y cristalización entre otros.^[33]

El ATD es un método simple, rápido y de costo relativamente bajo; es útil como criterio diagnóstico en sustancias que no pueden ser analizadas por otros métodos como es el caso de minerales no cristalinos presentes en un suelo.

Las diferencias de temperatura que se producen corresponden a cambios de calores netos, y por eso es posible que se produzcan reacciones exotérmicas y endotérmicas simultáneamente.^[18]

Partes de un equipo de ATD.

Unidad de calentamiento. Consiste de un horno eléctrico capaz de calentarse entre 0°C y 1200°C (C velocidades de 5, 10, 20 y 50 (C / min.)

Unidad de control y programación. Su función es mantener una velocidad de calentamiento automatizada, constante y lineal. La forma más simple de lograrlo es por medio de un motor sincrónico sobre un transformador variable de modo que regule los incrementos de voltaje para mantener un calentamiento constante.²²

Unidad de registro. Esta debe permitir el registro simultáneo del voltaje diferencial y de la temperatura, además, debe ser lo suficientemente sensible para permitir el registro de reacciones térmicas muy bajas.^[18]

Unidad de portamuestras y termopares. Los portamuestras (crisoles) consisten de un bloque cerámico o metálico generalmente cilíndricos, en los cuales se coloca la muestra y los termopares.

- **Análisis Térmico Gravimétrico (ATG)**

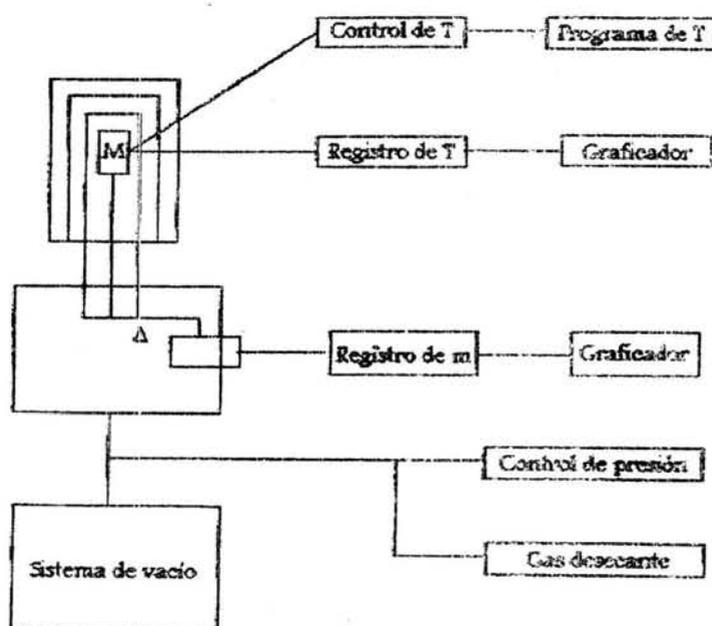
La marca "Onda" construyó la primera termobalanza de utilidad práctica en 1915 la cual, a partir de entonces, ha sufrido una serie de transformaciones que multiplican sus posibilidades.

En esta técnica se registran los cambios que se presentan en la masa de la muestra de forma continua y en función de la temperatura (T) o del tiempo (t), previa programación lineal de la velocidad de calentamiento. El análisis (función masa) $dm / (función temperatura) dT$ o $dm / (función tiempo) dt$ en función de la temperatura, es lo que llamamos termogravimetría derivativa. Sin embargo, el principio del funcionamiento sigue siendo el mismo, en la figura 10 se presenta un esquema clásico de dicho principio. La balanza generalmente opera bajo el principio de balance a cero y sus brazos se mantienen en la posición de referencia por medio de un mecanismo activado o un sistema eléctrico que a su

vez es regulado ópticamente. En este equipo la muestra (M) se calienta de forma que su temperatura ascienda programadamente en el tiempo. El control de la temperatura se lleva a cabo mediante termopares, es posible escoger entre diferentes velocidades de calentamiento o mantener constante la temperatura del horno. La variación de masa se registra de forma automática, conjuntamente con la temperatura de la muestra y se obtiene un gráfico de masa/temperatura.

Mediante la interpretación cuantitativa de las pérdidas de peso es posible dilucidar la naturaleza de las fases intermediadas y caracterizar las distintas etapas de la descomposición de un material.

Otras de las aplicaciones importantes del análisis termogravimétrico es el estudio cinético de reacciones al estado sólido. ^[33]



Esquema de una termobalanza. Fig. 65

G. Rayos X

Otra técnica de análisis instrumental que ayuda a identificar la composición de los materiales arcillosos es la difracción de rayos "X". El material de la arcilla es un material cristalino, las disposiciones atómicas regulares de un cristal actúan como una red de difracción de tal modo que los rayos emergentes forman ángulos definidos con el rayo incidente a partir de esto puede determinarse la estructura del cristal, cuando se coloca la arcilla en forma de polvo todas las orientaciones se van observando de una sola vez .

• Producción de rayos X

Los rayos X se producen al incidir un haz de electrones de alta energía sobre un átomo, éste sufrirá el desprendimiento de un electrón de una capa interna quedando en estado excitado. La transferencia de un electrón de una capa externa al hueco producido, con su respectiva emisión de energía en forma de rayos X, permitirá que el átomo regrese a su estado original. Los rayos X son fotones de alta energía con longitudes de onda cortas características de cada elemento. Su intensidad será proporcional al número de átomos excitados. La generación de rayos X se lleva a cabo comúnmente a través de un dispositivo conocido como tubo de rayos X (Figura 61) que consta esencialmente de una fuente de electrones. Los electrones emitidos desde el cátodo viajarán acelerados por una gran diferencia de potencial, hasta el ánodo o blanco, que puede estar hecho de cobre, molibdeno, cobalto, plata o tungsteno, principalmente. Al impacto de los electrones con el blanco se generan los rayos X que son irradiados produciendo dos tipos de espectros, el continuo, cuya intensidad varía de forma continua con la longitud de onda; y el característico, formado básicamente por radiaciones cuyas energías varían de forma discreta.

El espectro característico se presenta después de un voltaje determinado y superpuesto al espectro continuo. Una línea de emisión característica se aísla por medio de filtros. El haz pasará por medio del tubo y se hará incidir sobre la muestra a analizar.^[13]

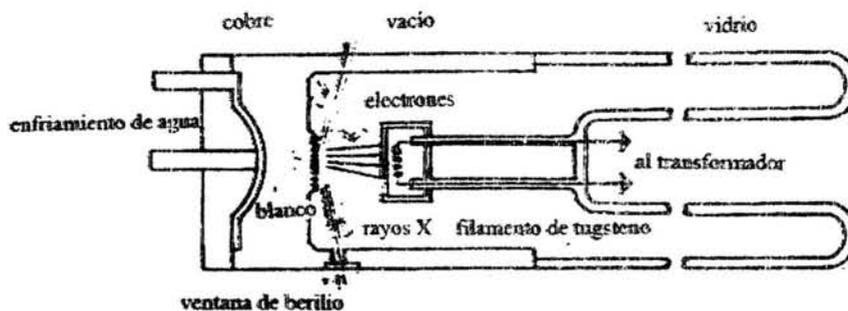
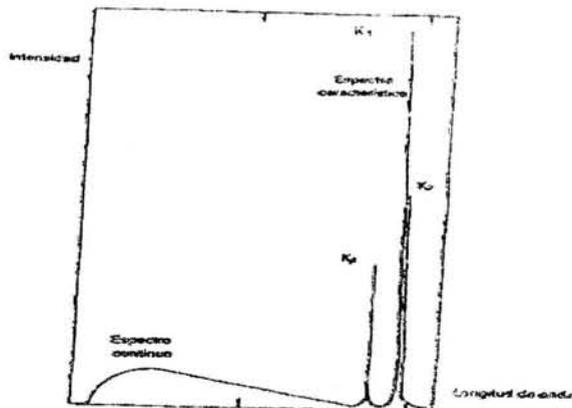


Diagrama esquemático de un tubo de rayos X. Fig. 66

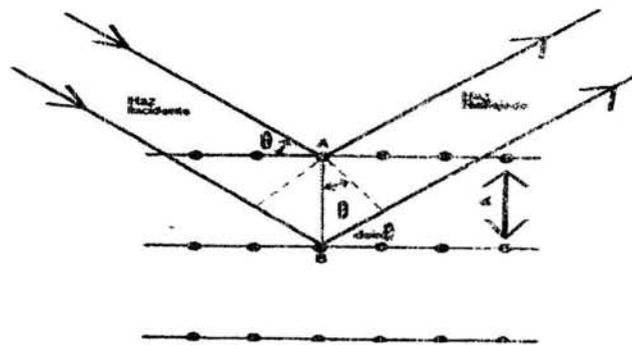


Espectro continuo y característico producido por el impacto de los rayos sobre una muestra. Fig. 67

El primer experimento de difracción de rayos X por cristales fue diseñado en 1912 por Von Laue quien desarrolló el tratamiento matemático para explicar el fenómeno resultando muy complejo y difícil de aplicar. [5]

• **Difracción de Rayos X**

Posteriormente con base en la Ley de Bragg, se desarrolló el método que representa los cristales constituidos por familias de planos que actúan como espejos semitransparentes en los cuales, al incidir un haz monocromático de rayos X, se lleva a cabo el proceso de difracción, representado muy adecuadamente por uno de "reflexión". Los rayos penetran en la superficie del cristal reflejando una radiación virtualmente monocromática. La relación existe entre la longitud de onda del haz de rayos X, el ángulo de difracción y la distancia d entre cada serie de planos atómicos de la red cristalina, está descrita por la ecuación de Bragg: $n\lambda=2d\text{sen}\theta$



Fenómeno de difracción de rayos X Fig. 68

Esta figura 68 representa el fenómeno de difracción y las reflexiones a ángulos específicos de 2θ . El valor de 2θ es el ángulo entre el haz incidente y el haz detectado.

También se pueden observar dos haces que inciden en dos centros dispersores distintos (A y B), dispersado por B lleva un recorrido extra definido en la figura 68 por el doble de $d \text{sen}\theta$. Para que los dos haces estén en fase, se requiere que el recorrido extra del haz

dispersado en B, sea igual a un número entero (n) de longitudes de onda (λ). Esta justamente es la condición de Bragg. La obtención de esta fórmula es a través de una construcción geométrica, en la cual se obtiene:

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

En donde n = número entero de ondas, d = distancia interplanar, θ = ángulo de Bragg y λ = longitud de onda de los rayos X incidentes. Esta ecuación es fundamental para su aplicación en el estudio de monocristales o polvo policristalino.

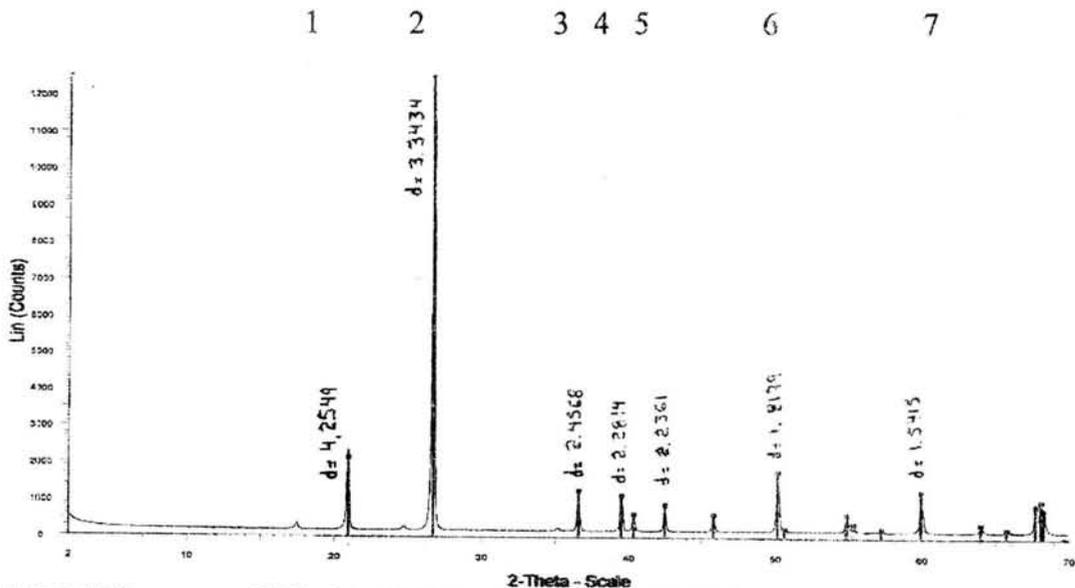
La técnica de difracción de rayos X empleada en este trabajo fue la del método de polvos, donde, a diferencia de un solo cristal se tienen muchos cristalitas, es decir, un sólido policristalino en forma de polvo. Este material, al colocarlo en un portamuestras, idealmente queda arreglado al azar. De manera que el haz de rayos X llegue a la muestra incidiendo en todas las disposiciones de las caras de los cristales. En muchos casos, es posible obtener la suficiente información para determinar la estructura cristalina de la muestra en estudio. [12]

• **Método de polvos**

Existen diferentes técnicas en difracción de rayos X. Una de ellas es conocida como “método de polvos” para material policristalino.

El método de polvos se basa en la obtención del conjunto de todos los máximos de difracción que genera un cristal, lo que constituye una huella de la estructura propia de cada fase cristalina. Cada máximo de difracción esta caracterizado por dos parámetros, su distancia interplanar d (generalmente en $^{\circ}$ A amstrongs o en nm nanómetros) y su intensidad | (en cuentas c o en cuentas por segundo cps).

EJEMPLO DE PATRON DE UN DIFRACTOGRAMA DE SiO₂.



46-1045 (*)-Cuarzo, syn-SiO₂ - Y: 100.00% - d x by: 1.-WL:1.5406-hexagonal-I/IcPDF 3.4-

En la gráfica de rayos "X" los números señalan la distancia interplanar que se observan en la tabla.

	Distancia interplanar	Intensidad %
1	4.2549	16
2	3.3434	100
3	2.4568	9
4	2.2814	8
5	2.2361	4
6	1.8179	8
7	1.5415	9

Con estos conjuntos de valores de distancias de la muestra por comparación con los estándares, JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) del ICDD (Internacional Centre for Diffraction Data) del ASTM (American Society for Testing Materials), se identifican las fases cristalinas.

46-1045

Longitud de onda= 1.5405981

SiO₂

Oxido de silicio

d(Å)	h	k	l	d(Å)	Int	h	k	l
4.2549	100	1	0	0	16	1	1	0
3.3434	100	1	0	0	100	1	1	0
2.4568	9	1	1	0	9	1	1	0
2.2814	8	1	0	0	8	1	0	0
2.2361	4	1	1	1	4	1	1	1
1.8179	8	2	0	0	8	2	0	0
1.5415	9	1	0	0	9	1	0	0

Cuarzo sintético

Rodio:CuKa1 λ:1.540598 filtro: Ge Mono d-sp:Diff

Corte Int.: Difractómetro I/ICor.: 3.41

Ref: Kern. A. Eysel W.Mineralogisch-petrograph. Inst.

Univ. Heidelber. Germany.ICDD Grant-in-Aid. (1993)

Sistema: Hexagonal

S.G.:P3₂21 (154)

a:4.91344(4) b: c:5.40524(8) A: C:1.1001

α: β: γ: Z: mp:

Ref: Ibd.

Dx: 2.649 Dm: 2.660 SS/FOM: F30=539(.0018 . 31)

εα: η ω β: 1.544 ε γ: 1.553 Sign: + 2V.

Ref: Swanson. Fuyat. Natl. Bur. Stand. (U. S.). Circ. 539. 3. 24 (1954)

Color: Blanco

Intensidad Integrada: Patrón tomado a 23 (1) c. Low

Cuarzo baja temperatura. 2θ determinación basada en el de perfiles conocidos. O2 tipo silice. Grupo del cuarzo. Se usa silice como estándar interno. PSC: hP9. Reemplazar 33-1161. Pesc molecular. Volumen

H. ANÁLISIS QUÍMICO

Para realizar los análisis químicos se usan diferentes pruebas que conducen a determinar la presencia de diversos componentes. El análisis químico tiene aplicaciones extensas en investigación, desarrollo y control, el conocimiento de la composición química de las materias primas, pastas y vidriados nos ayuda para seleccionar el material arcilloso adecuado para el diseño de objetos cerámicos.

Ejemplo de una arcilla que contiene (óxido ferrico) Fe_2O_3 y (óxido de titanio) TiO_2 afecta al color de la pasta después de ser sometida a temperaturas, si esta cantidad es menor de 2% la arcilla cocida será usualmente blanca o de color claro. Este color puede haber estado enmascarado en la arcilla cruda por materia orgánica oscura que se elimina por combustión.

[³⁵]

Recordando que la sustancia ideal de arcilla, es (caolín, 2 moléculas de óxido de silicio, de aluminio y agua) $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, contiene 46.51% de (óxido de silicio) SiO_2 , 39.53% de (óxido de aluminio) Al_2O_3 y 13.95% de agua (que se pierde en la cochura), un contenido de sílice superior al 46.5 puede indicar sílice libre o cuarzo. Un elevado contenido de álcali* indica generalmente un producto cocido vítreo. Una pérdida por calcinación superior al 14% indica la presencia de materia carbonosa, y tal arcilla puede ser plástica y con frecuencia se desflocula fácilmente para fines de moldeo, a no ser que interfieran sales solubles. [³³]

Análisis químicos básicos

1. Para carbonatos. Si a una muestra de arcilla se le agrega (ácido clorhídrico) HCl frío y diluido (1: 1) al reaccionar se produce efervescencia existe carbonatos. La presencia de carbonatos es un inconveniente para las arcillas cerámicas y tales arcillas deben evitarse si es posible.
2. Hierro. El tratamiento de la arcilla con (ácido clorhídrico) HCl concentrado caliente con un agente oxidante Manganato de potasio ó dicromato de potasio ($KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$) disolverá generalmente al menos una parte del hierro. Este se precipita seguidamente con (hidróxido de amonio) NH_4OH y el volumen y el color del precipitado dan una estimación del contenido en hierro.
3. Alúmina libre. La muestra de arcilla si es soluble en solución de sosa cáustica caliente y si precipita, se estimara, un contenido muy elevado de alúmina indicando la presencia de una arcilla refractaria.
4. Fosfatos. La muestra se disuelve en agua regia, se diluye adecuadamente y se ensaya entonces con molibdato de amonio dando un precipitado de color amarillo indicando la presencia de fosfatos. Los fosfatos son de importancia para ciertos refractarios y ciertos vidriados.
5. Sales solubles en agua. La muestra seca y pesada se agita con agua, dejándose después sedimentar o centrifugándose, y el líquido claro se evapora a sequedad. Es esencial conocer la cantidad de sales solubles en agua que está presente en una arcilla cerámica. Por ejemplo, el alto contenido de sulfato de magnesio. [³⁴]

I. ESTRUCTURAS Y PROPIEDADES CRISTALINAS DE LAS ARCILLAS

La arcilla es una de las sustancias naturales de mayor importancia en la industria de la cerámica, dada sus propiedades de ser fácilmente moldeable cuando esta húmeda y de endurecer y permanecer en la forma que se le da, cuando se somete a calentamiento y expulsa parte del agua que contienen. El estudio de las estructuras mineralógicas que conforman las arcillas permite comprender las propiedades físicas y químicas que estas presentan, tales como su tenacidad, porosidad, color, termoluminiscencia, entre otras.

• Grupo de la caolinita

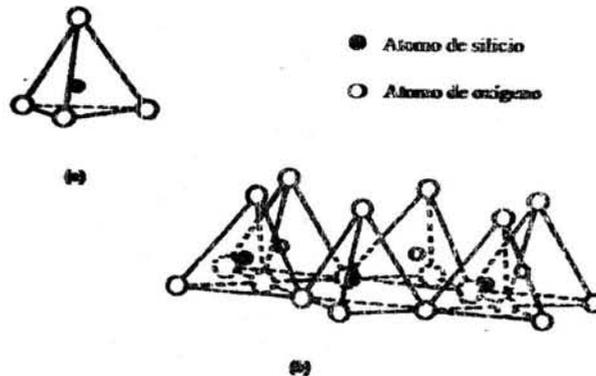
Las arcillas están básicamente formadas por un mineral que es un silicoaluminato hidratado y puede contener además, minerales tales como cuarzo, feldespatos, carbonatos micas y otros. Una particularidad importante de los minerales arcillosos es su capacidad para formar sustancias coloidales.*^[11]

La arcilla es una de las sustancias naturales de mayor importancia en la industria de la cerámica dadas sus propiedades de ser fácilmente moldeables cuando está húmeda, y la de convertirse en una sustancia dura y consistente al ser calentada y expulsará parte del agua contenida.^[11]

Los minerales de caolinita se encuentran en bloques compactos, agregados granulares o formas vermiculares*. El clivaje* perfecto 001 de láminas flexibles pero inelásticas, las cuales son a veces empleadas para la determinación de sus propiedades ópticas.^[11]

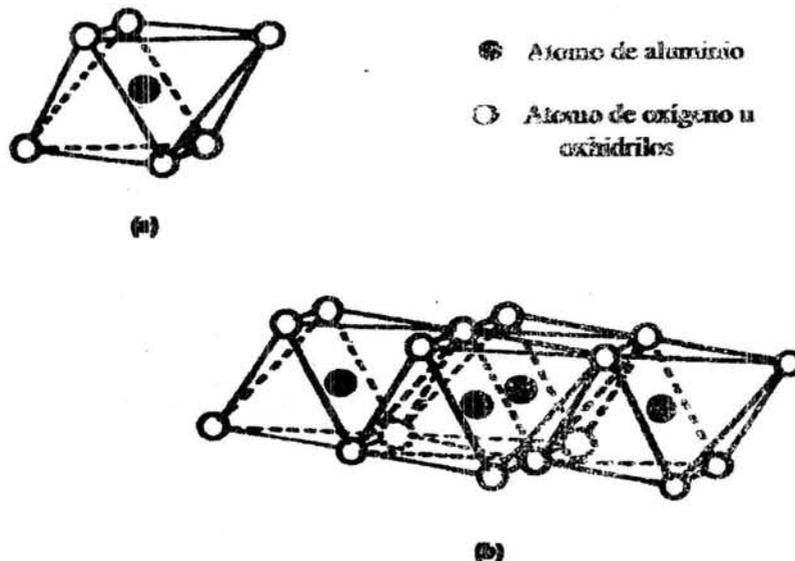
Este mineral frecuentemente presenta color blanco, a veces rojizo, parduzco o con tintes azulados, incoloro en regiones delgadas.^[11]

La estructura fundamental de la caolinita es una capa extendida, de la cual se puede considerar que tiene dos constituyentes; una capa de composición ortosilicato $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$ la cual esta formada por tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$ en un arreglo hexagonal. Los tetraedros se encuentran en su base aproximadamente coplanar y todos sus vértices están apuntando en una dirección. Los oxígenos apicales, junto con algunos iones hidróxilo OH^- , se localizan sobre los centros de los hexágonos, formando la base de una lámina tipo gibsita de composición hidroxaluminato $(\text{OH})_6\text{Al}_4(\text{OH})_2\text{O}_4$, estando ocupados por iones aluminio sólo dos de cada conjunto de tres sitios disponibles.^[11]



(a) Tetraedro de Ortosilicato $[\text{SiO}_4]^{4-}$, (b) Tetraedros de Ortosilicato $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ordenados de forma hexagonal.
Fig. 69

Capas sucesivas de caolinita aparecen superpuestas de modo que los oxígenos en la base de una capa están unidos por iones hidroxilos. Esto resulta en una capa laminar, cuya celda unitaria es triclínica con parámetros reticulares $a=5.15$, $b=8.95$, $c=7.39$ Å, $\alpha=91.8^\circ$, $\beta=104.8^\circ$, $\gamma=90^\circ$.



(a) Unidad octaédrica; (b) Unidades de capas octaédricas Fig. 70

Composición química de las caolinitas

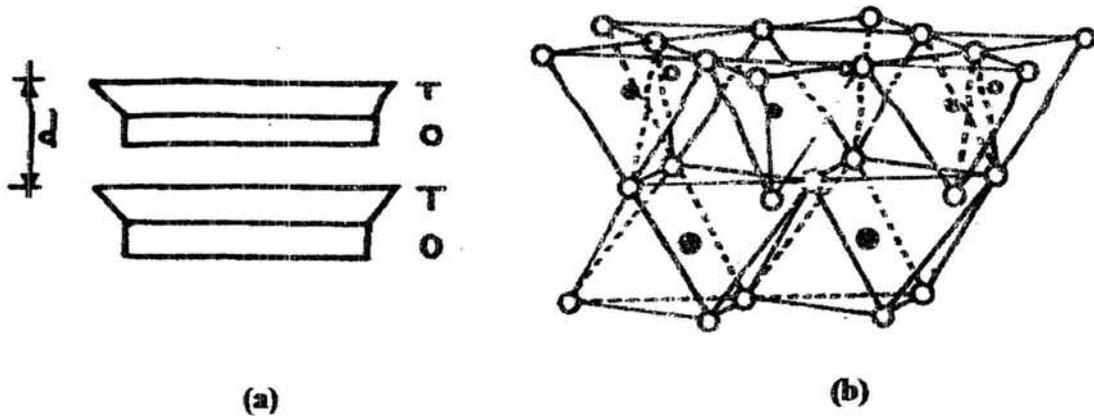
La composición química de la caolinita esta sujeta a pequeñas variaciones como son óxidos de hierro, de calcio, magnesio, sodio bario. Los análisis reportados muestran pequeñas cantidades de varios iones sustituidos en la estructura.

La fórmula de la caolinita es $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. (Óxido de aluminio, 2 moléculas de óxido de silicio, 2 de agua). Las impurezas que se registran en cantidades insignificantes son: Óxido férrico Fe_2O_3 , óxido de magnesio MgO , óxido de calcio CaO , óxido de sodio Na_2O , óxido de potasio K_2O , óxido de bario BaO , óxido de silicio SiO_2 .

Comparada con otras arcillas, por ejemplo la montmorillonita, que presenta una capacidad de intercambio catiónico de 100 miliequivalente/100 g, más baja. Sin embargo, muestra una alta capacidad de intercambio aniónico, la cual se atribuye a la presencia de iones OH^- reemplazables fuera de las láminas estructurales.^[37]

La caolinita presenta la siguiente distribución de cargas:

Oxígeno $6O^{2-}$	12+
Silicio $4Si^{4+}$	16+
$4O^{2-} + 2(OH)^-$	10 ⁻ (capa común al tetraedro y octaedro)
Aluminio $4Al^{3+}$	12 ⁺
Hidróxido $6(OH)^-$	6 ⁻



(a) esquema de una arcilla tipo 1: 1: lámina tetraédrica. (b) capa de la caolinita. Fig. 71

• **Grupo de la esmectitas**

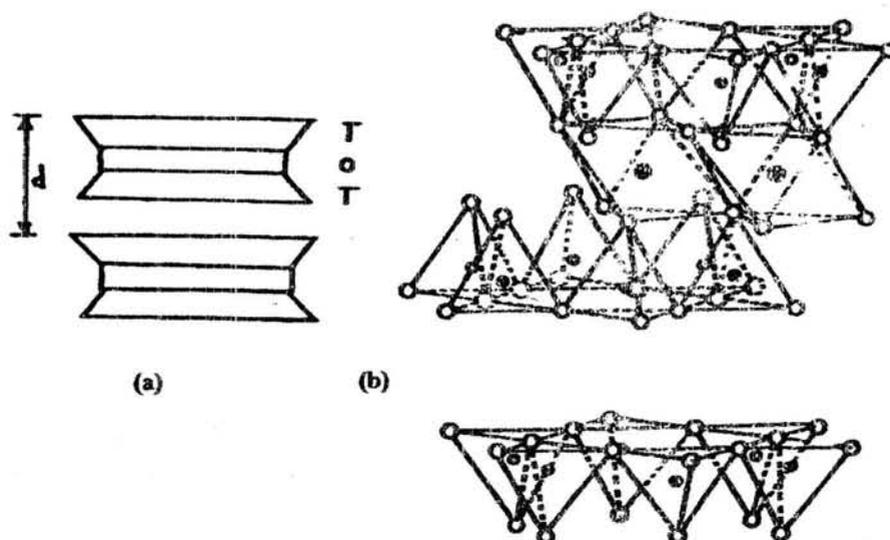
La montmorillonita pertenece a este grupo fue originalmente aplicado a minerales arcillosos con una composición similar a la de la pirofilita ($Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) excepto por la presencia de exceso de moléculas de agua en las capas de la estructura compuesta por $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$.

La variación en la composición química de esta fórmula básica da un grupo de minerales arcillosos los cuales están relacionados por una estructura común y por propiedades químicas y físicas parecidas. Las “esmectitas”, las cuales comprenden minerales compuestos por capas “tetraédricas-octaédricas-tetraédricas” los cuales se cristalizan en el sistema monoclinico. [2]

La montmorillonita, esta formada principalmente por la bentonita, que es una ceniza volcánica alterada la cual tiene la propiedad de aumentar de volumen cuando se sumerge en agua. Esta se encuentra asociada a la cristobalita, zeolitas, cuarzo, dolomita, calcita, entre otros minerales. [2]

La distribución teórica de las cargas en la montmorillonita es:

Oxigeno	6 O^{2-}	12 ⁻
Sílice	4 Si^{4+}	16 ⁺
Oxigeno + hidróxido	$4O^{2-} + 2(OH)^{-}$	10 ⁻ (capa común al tetraedro y octaedro)
Aluminio	4 Al^{3+}	12 ⁺
Oxigeno + hidróxido	$4O^{2-} + 2(OH)^{-}$	10 ⁻ (capa común al tetraedro y octaedro)
Sílice	4 Si^{4+}	16 ⁺
Oxigeno	6 O^{2-}	12.



(a) esquema de una arcilla tipo 2: 1: lámina tetraédrica-octaédrica. (b) capa de la montmorillonita. Fig. 72

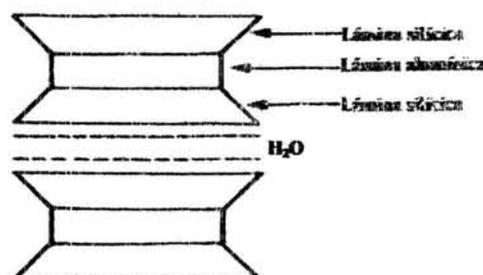
Dada la estructura cristalina que presenta la montmorillonita, el agua puede penetrar su estructura y causar que la arcilla se ensanche. Cuando esta se calienta o se expone por un tiempo prolongado al aire seco, el agua que se encuentra entre las capas de la estructura puede salir provocando con ello que la estructura se destruya, por lo que estas arcillas son sensibles a cambios en la cantidad de humedad presente en el medio. [29]

Composición química de las montmorillonitas

La formula química de las montmorillonitas es $(Na)_{0.7}(Al_{5.3}Mg_{0.7})Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$, En el análisis químico de las montmorillonitas se encuentran:

Oxido de silicio	SiO ₂ del 48 al 56%,
Oxido de aluminio	Al ₂ O ₃ del 11 al 22%,
Oxido de fierro	Fe ₂ O ₃ aproximadamente del 5%,
Oxido de magnesio	MgO del 4 al 9%,
Oxido de calcio	CaO de 0.8 al 3.5%
Agua	H ₂ O de 12 al 24%.

Las montmorillonitas presentan una gran capacidad de intercambio de cationes, tal como se observa en las zeolitas*. [29]



Expansion sufrida por la montmorillonita al contacto con el agua. Fig. 73

Propiedades físicas de las montmorillonitas

Las montmorillonitas son traslúcidas, éstas presentan colores que van del blanco, amarillo claro, verde claro, al gris. Presentan una dureza que va de 1 a 2 en la escala de Mohs.

Un método muy antiguo para medir la dureza de los metales y los minerales, que se usa todavía, principalmente por los mineralogistas, fue ideado por Mohs en 1822. Este método se basa en las diferencias de dureza de los minerales al intentar rayarlos unos con otros. Se elige un grupo de minerales cada uno de los cuales es rayado por el que sigue. El grupo de 10 minerales aceptado como escala de dureza, llamada escala de Mohs, es el siguiente: 1, talco; 2, yeso; 3, calcita; 4, fluorita; 5, apatita; 6, ortoclasa; 7, cuarzo; 8, topacio; 9, corindón; 10, diamante. Los intervalos entre los miembros de la escala de Mohs no son exactamente de la misma magnitud, y por ello los números de dureza de esta escala pueden no dar la relación “real”.

• Grupo de los feldespatos

Los feldespatos son entre los silicatos, los que más abundan en la corteza terrestre, constituyendo casi un 50% de su peso. Aproximadamente el 60% de los feldespatos se hallan en las rocas ígneas; alrededor del 30% corresponden a las rocas metamórficas, y los demás se hallan en areniscas y conglomerados.

Por su composición química los feldespatos son generalmente aluminosilicatos de sodio Na, potasio K^{1+} y calcio Ca^{2+} . Estos minerales se cristalizan en el sistema monoclinico o triclinico, distinguiéndose muy poco por sus características morfológicas. De entre sus propiedades físicas, se distinguen por su coloración clara; los intervalos para sus índices de refracción (1.536, 1.525 para la albita y 1.588, 1.575 para anortita); gran dureza de 6-6.5 en la escala de Mohs, siendo estas las características que los distinguen. Dentro de estos feldespatos, destacan el subgrupo de las plagioclasas, las cuales son de gran interés en la composición mineralógica de las arcillas por sus propiedades fundentes. ^[1]

Subgrupo de las plagioclasas

La palabra “plagioclasa” en griego significa: el que se deshace oblicuamente. Los minerales que pertenecen a esta clase, tales como la albita y la anortita, son normalmente coloridos o blancos, con tonalidades que comprenden: amarillo, rosa, verde o negro; e incoloros en algunas secciones. Las plagioclasas de alta temperatura se encuentran en algunas rocas volcánicas, mientras que los de baja temperatura, tal como la serie de albita-anortita, se encuentran en la mayoría de las rocas ígneas. Son comunes también en las rocas metamórficas y ambas se encuentran en sedimentos primarios.

La serie de los feldespatos plagioclasas incluyen seis minerales: albita, oligoclasa, andesina, labradorita, bentonita y anortita. Tal serie esta dada de acuerdo a las cantidades relativas de albita - $Na[AlSi_3O_8]$ y anortita - $Ca[Al_2Si_2O_8]$. ^[8]

Composición química de la albita

La albita está compuesta de silicatos aluminicos de calcio y sodio; el potasio puede hallarse presente en cantidad apreciable. La albita tiene una simetría triclinica.^[8]

En la naturaleza se encuentra en dos formas:

albita de baja temperatura

albita de alta temperatura

La principal diferencia estructural entre la albita de baja y alta temperatura, se encuentra en la distribución de la cantidad de átomos de aluminio en los cuatro sitios tetraédricos no equivalentes, de los poliedros (Si, Al)-O₄.

Composición química de la anortita

La composición química teórica de la anortita es Ca[Si₂Al₂O₈], registrándose casi siempre impurezas como oxido de sodio Na₂O, oxido de calcio CaO, oxido de aluminio Al₂O₃, oxido de silicio SiO₂ y oxido de potasio K₂O, presentándose el óxido de potasio a veces en un porcentaje apreciable.

Son también frecuentes impurezas pequeñas de oxido de bario BaO, oxido de estroncio SrO, oxido ferroso FeO y oxido ferrico Fe₂O₃, las cuales puede estar presentes hasta en un 0.2%. La anortita está formada por minerales alcalinotérreos [CaAl₂Si₂O₈], encontrándose en suelos moderadamente básicos.^[8]

Propiedades físicas de la anortita y la albita

Los cristales presentan un color blanco grisáceo, a veces con matices de tono verdusco, azulado o, con menos frecuencia rojizo. Brillo vítreo. Los índices de refracción crecen regularmente yendo en la albita (1.536, 1.525) a la anortita (1.588, 1.575). La dureza según la escala de Mohs va de 6 a 6.5, parecida a la de la ortoclasa.^[8]

Materiales no arcillos indispensables para la preparación de las pastas cerámicas.

• Grupo de las micas

Todos los minerales del grupo de las micas se cristalizan en el sistema monoclinico, y las formas de los cristales se aproximan a las hexagonales.^[37]

Los minerales de mica en conjunto muestran una considerable variación en sus propiedades químicas y físicas, no obstante todas son caracterizadas por una perfecta hendidura basal la cual es una consecuencia de su estructura de capas atómicas. Dentro de las micas, la moscovita flogopita y la lepidolita son de considerable importancia económica, ya que se emplean como dispositivos dieléctricos y aislantes.^[29]

Los rasgos estructurales básicos de las micas, son que manifiestan una estructura laminar en la cual una capa de cationes coordinados octaédricamente están intercalados entre dos capas idénticas de (Silicio Si, Aluminio Al) Oxígeno O₄ unidos tetraédricamente.

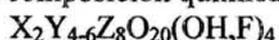
Las capas están superpuestas y se encuentran unidas por un plano de cationes. La coordinación octaédrica de los cationes intercalados se completa por la coordinación de los iones hidróxido con los oxígenos apicales de los tetraedros internos.

Alternativamente, la estructura puede ser observada como si fuera una lámina de brucita central hidróxido de magnesio Mg₃(OH)₆ en la phlogopita o gibsita hidróxido de aluminio Al₂(OH)₆ en la moscovita, en la cual cuatro de los iones OH⁻ se encuentran remplazados por oxígenos apicales sobre la capa tetraedral.^[11]

La descripción anterior de la lámina de mica es idealizada, ya que en realidad en su estructura los tetraedros están deformados, así que las laminas de (Si,Al)_{2.5} presentan en lugar de una simetría trigonal una simetría hexagonal.

Composición química de las micas

La fórmula general que describe la composición química de las micas es: ^[29]



Donde: X es principalmente potasio K, sodio Na, o calcio Ca, como bario Ba, rubidio Rb, cesio Cs, etc.

Y es principalmente aluminio Al, magnesio Mg o fierro Fe, manganeso Mn, cromo Cr, titanio Ti, litio Li, etc.

Z es principalmente Silicio Si o aluminio Al, pero también puede ser fierro Fe y Titanio Ti.

La moscovita es una mica octaedral, ésta es una de las más comunes de las micas y se encuentra en una amplia variedad de ambientes geológicos, su composición química es K₂Al₄[Si₆Al₂O₂₀](OH)₄.

En pegmatitas graníticas la moscovita aparece asociada al cuarzo y feldespato, junto a la turmalina, berilio, gránate, apatita y fluorita. ^[1]

La moscovita presenta propiedades aislantes eléctricas y térmicas, las cuales hacen de este material de gran importancia industrial. La moscovita con 2 y 4 % de óxido ferrico Fe₂O₃ ha sido reportada, así como aquella con una alta cantidad de óxido ferroso FeO. La mayoría de las moscovitas contienen menos del 1% de óxido de manganeso MnO, pero las especies púrpura y azul contienen alrededor del 2%.

Propiedades físicas de las micas

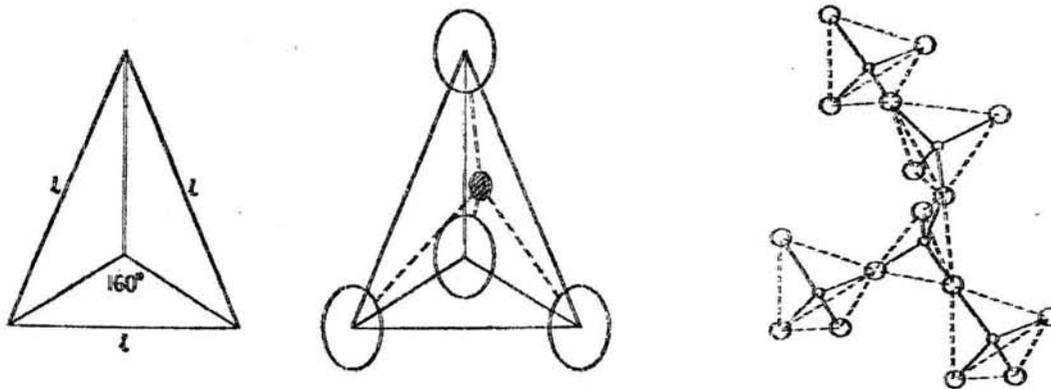
Con respecto al color, en las hojas delgadas de la exfoliación de las micas es incolora, a menudo presenta matices como amarillento, grisáceo, verdusco y a veces rojizo.

Materias primas no plásticas

- Grupo del cuarzo.

El cuarzo es el principal constituyente de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Sus formas polimórficas están en función de la temperatura. Así, la cristobalita y la tridimita, pueden existir metaestablemente debajo de sus temperaturas de inversión. Cada una de las formas metaestables de la tridimita, cuarzo y cristobalita, tienen una fase de baja y alta temperatura designadas como α y β respectivamente. [9]

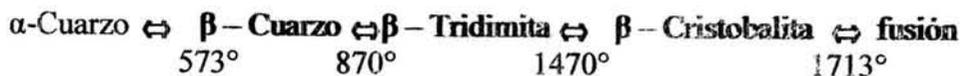
En la estructura cristalina del cuarzo el ión sílice Si^{4+} se encuentra enlazado covalentemente a cuatro oxígenos, situados en los vértices de un tetraedro. El cuarzo se asemeja a un armazón de tetraedros unidos, el modo de unión es el mismo en todos (mediante los vértices de los tetraedros), pero la orientación y la simetría de su disposición son distintas.



Tetraedros de silicio y 4 oxígenos

Cuarzo Fig. 74

El cuadro general de las modificaciones polimórficas de SiO_2 , se muestra a continuación:



α - Cuarzo: es estable a temperatura atmosférica y arriba de 573°C . Este tiene un grupo espacial P3_221 , un sistema cristalino hexagonal, cuyos parámetros de celda en la representación hexagonal son $a = 4.676 \text{ \AA}$, $c = 5.247 \text{ \AA}$. [31]

β – Cuarzo: es estable en el intervalo de temperatura ambiente y por arriba de 573° C a 870° C, puede estar en un estado metaestable alrededor de 870° C.

α – Tridimita: puede existir a temperatura ambiente y por arriba de 117° C, aunque no es estable en esta forma y a esta temperatura.

β_1 – Tridimita: puede existir entre 117° C y 163 °C, pero esta forma no es estable en este rango de temperaturas.

β_2 – Tridimita: puede existir alrededor de 163° C; es estable en esta forma de 870 °C a 1470 °C. Y se funde a 1670 °C.

α – Cristobalita: puede existir a temperatura ambiente y por arriba de 200°C a 275°C, aunque en este intervalo no es tan estable.

β – Cristobalita: puede existir alrededor de 200°C a 275°C; se encuentra en esta forma estable desde 1470°C hasta su punto de fusión a 1713°C.

Otras fases características también las constituyen la coesita, la kearita, la estisovita, el vidrio de sílice y la sílice criptocristalino. ^[11]

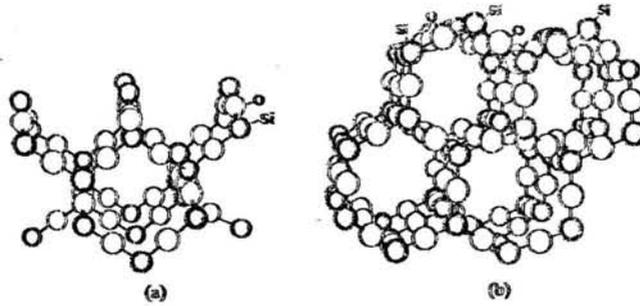
Además se encuentran presentes las transformaciones enantiotróficas de la tridimita y la cristobalita en la esfera de bajas temperaturas en estado sobre enfriado. ^[37]

α – Tridimita \rightleftharpoons β – Tridimita y α – Cristobalita \rightleftharpoons β – cristobalita
130° 180° a 270°

El α -cuarzo, se denomina simplemente cuarzo, este es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre y cristaliza en el sistema hexagonal. Las estructuras de sus demás fases son el β – cuarzo y la β – tridimita hexagonal, ortorrómbica para la α tridimita, cuya estructura contienen varios canales abiertos a través de los cuales grandes iones pueden pasar, y pueden ser atrapados durante el proceso de cristalización. ⁴

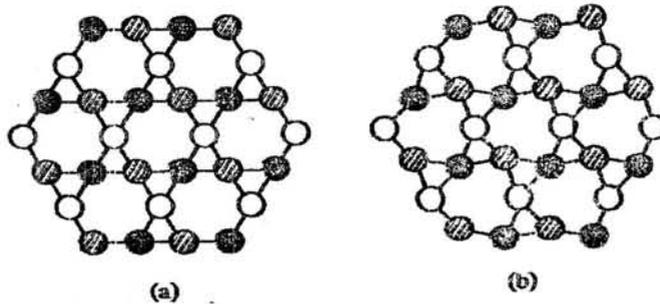
La estructura de la β – Cristobalita es cúbica y puede ser descrita por analogía con la β – tridimita, que es hexagonal en forma similar basa su estructura en una cámara de anillos de seis miembros de tetraedros de $[\text{SiO}_4]^{4-}$. La estructura idealizada de la β – cristobalita tiene una simetría cúbica y puede alternativamente ser descrita como una celda cúbica conteniendo 8SiO_2 , es decir, ocho unidades de óxido de silicio por cada celda unidad. Vista de esta forma, la estructura puede ser parecida a la de un diamante, con átomos de silicio ocupando las posiciones de los carbonos, y los oxígenos en el punto medio de cada puente sílice Si – sílice Si.

Así, las estructuras abiertas de la tridimita y de la cristobalita pueden mantenerse abiertas por agitación térmica a altas temperaturas, y su persistencia a bajas temperaturas probablemente se deba a la influencia de los iones alojados en sus cavidades. ^[16]



Estructuras de: (a) tridimita

(b) crisobalita. Fig. 75



(a) β cuarzo

(b) α cuarzo Fig. 76

Composición química del cuarzo

El mineral cuarzo contiene predominantemente SiO_2 (100%). En un análisis químico muestra pequeñas cantidades de óxidos. Estos óxidos existen en forma de pequeñas inclusiones de otros minerales o a infiltraciones de estos en las cavidades de la estructura del cuarzo, cuando este se encuentra en forma líquida.

Cuarzo	Li_2O	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO_2	TiO_2
Incoloro	0.0005	0.0004	0.0002	0.0008	0.0000	0.00002	0.0001
Ahumado	0.0004	0.0000	0.0000	0.0008	0.0005	0.00002	0.0002
Rosa	0.0038	0.0011	0.0001	0.0001	0.0003	0.00005	0.0015
Amatista	-	-	-	0.0004	0.0216	0.00000	0.0004

Análisis químico de muestras de cuarzo, datos en % en peso. ^[10] Cuadro 3

Para un cristal de cuarzo de un alto grado de cristalinidad, se asume que hay un mínimo de otros metales, debidos a la sustitución de Al^{3+} por Si^{4+} , el cual aparece acompañada de iones alcalinos como el litio o el sodio, que dan un efecto de compensación de carga a la estructura. El mineral cuarzo es insoluble en soluciones ácidas excepto el HF.

Propiedades físicas del cuarzo

El índice de refracción del cuarzo presenta una pequeña variación de 1.544 a 1.553; mediciones detalladas usando un cristal de cuarzo de conocida pureza dan los siguientes valores para $\lambda = 589.29 \mu m$.

La piezoelectricidad del cuarzo se observa cuando una carga sobre su superficie se somete a una presión mecánica o bajo el efecto de una deformación mecánica producida cuando el cristal está sujeto a un campo eléctrico. Esta propiedad ha sido aplicada al control y estabilización de frecuencias de osciladores electrónicos. [2]

Los intervalos de color del cuarzo dan lugar a diversas variedades: incoloro, amarillo (citrina), gris-café a negro (cuarzo ahumado), rosa (cuarzo rosa) y violeta (amatista).

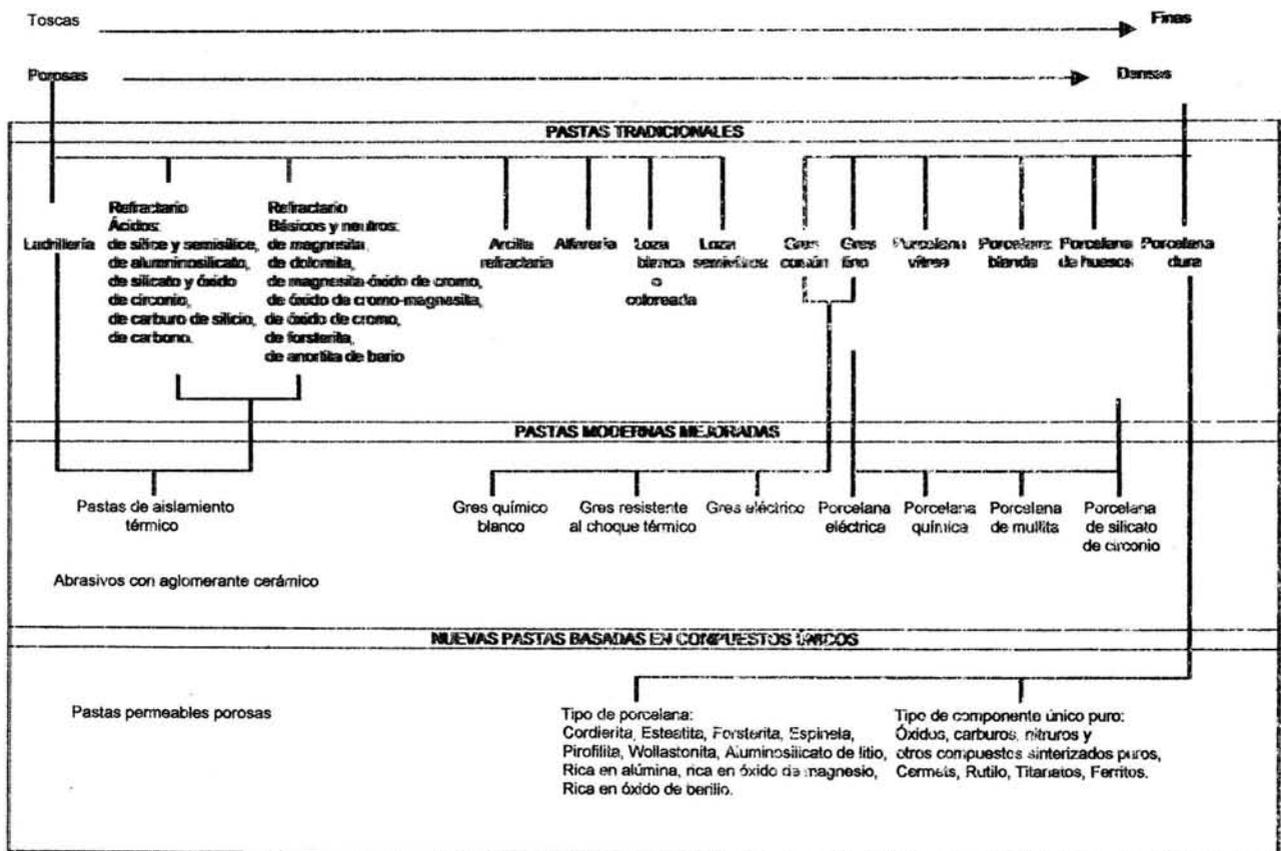
La coloración del cuarzo está en función del tipo de iones presentes. Así, compuestos con iones del tipo de los gases nobles magnesio, aluminio (Mg^{2+} , Al^{3+} , etc.) generalmente no presentan coloración o presentan coloración apocromática. Los minerales con iones de estructura simétrica fierro, manganeso, cromo (Fe, Mn, Cr, etc.) presentan colores oscuros intensos.

IV APLICACIONES DE LOS MATERIALES CERÁMICOS

A. Pastas

Cuando se mezcla la arcilla con otros materiales como: feldespato, sílice, pedernal o cuarzo se llama “pasta”, y sirve para fabricar cualquier producto cerámico.

Las pastas actuales basadas en el conocimiento de la composición, estructuras y reacciones de los materiales se pueden describir para un uso especializado al que puede destinarse, como se muestra en el siguiente cuadro.^{5 [28]}



Cuadro 4

• Diagrama de las pastas

La composición de las pastas cerámicas tradicionales está comprendida dentro de ciertos factores: en primer lugar es el moldeo de la pieza, en segundo lugar el secado y cocción de la pieza, sin agrietamiento, el tercer factor es el mezclado de la pasta con suficiente fundente*, de tal modo que se forme suficiente material vítreo para mantenerla unida mientras se realiza la cochura de las piezas.^[16]

Diagrama de preparación de pastas:

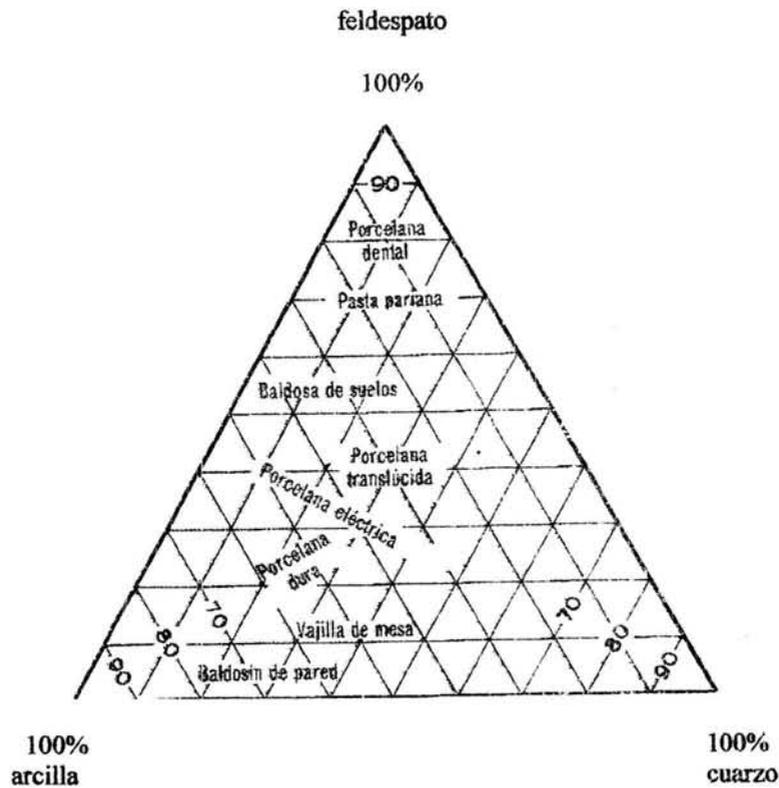


Fig. 77

B. Aplicaciones de los materiales cerámicos

Los materiales cerámicos tienen múltiples aplicaciones como los que se indican a continuación.

• Ladrillos

En un material basto, poroso, coloreado, de refracción no especificada que encuentra su aplicación en el campo de la construcción, tubos de aguas residuales y las baldosas para suelos, la textura superficial y el color de ladrillos y las baldosas pueden mejorarse con aplicación de un engobe*.

La arcilla apropiada para fabricar ladrillos o bloque estructural (celosía) es de origen secundario: arcilla de superficie exquisita y arcilla refractaria, este material se limpia de piedra y se reduce a partículas pequeñas para molerlas en molinos de rodillos o martillos, las cribas ordinarias son vibratorias o por gravedad, los productos para formarse o modelarse se pueden trabajar como barro blando, duro o prensado en seco.

Para el proceso de barro blando se mezcla la arcilla con 20% a 30% de agua y con leve presión se le da la forma en un molde. En el proceso de barro duro se conserva la arcilla apenas húmeda para que se una al ser amasada, su contenido de humedad es del 12% al 15%, se pasa la masa por una prensa de helicoide de manera similar a la pasta dentrifica formando una hilera y cortándose las unidades de 20.3 cm.

En los tres procedimientos el agua se añade a la arcilla en una amasadora, antes de cocer los productos de arcilla para la construcción de la piezas es necesario secarlas, se puede utilizar el calor del horno, terminado el secado, se colocan las piezas en los hornos para ser cocidos, ya el material frío se selecciona para la venta.



Uso de la arcilla cocida en ladrillos y tejas. Fig. 78

- **Terracota**

La terracota es una pasta de ladrillo de tipo más fino que se ha preparado mediante molienda y mezclado de arcillas y se emplea para trabajos de construcción decorativos.



Pared y piso decorados con mosaicos de terracota pintados a mano. Fig. 79

Las obras Chinas tempranas más sorprendentes que se han encontrado, son las 8000 figuras de terracota desenterradas cerca de la ciudad de Xian, la antigua capital China. Son guerreros de 1.80 a 2.00 metros de altura, son soldados altos y fornidos, los caballos de 2.00 metros de largo por 1.70 metros de alto, carruajes de madera bien distribuidos y ordenados, hoy en día es considerada la octava maravilla del mundo, realizada por alfareros de las capas sociales inferiores y de los talleres imperiales, se han podido identificar 80 autores de esta obra.^[38]



Soldados con armadura encontrados en la ciudad de Xian, China. Fig. 80

1) Azulejos

Los azulejos para pisos y paredes deben tener cuerpo enteramente sin poros, por tal motivo se fabrican con gran proporción de feldespato (50%, 60%), la pasta es triaxial, y lleva recubrimiento vidriado.

Ya conociendo los vidriados y otras técnicas como fue el lustre, la cerámica Islámica a principios del siglo IX, exhibe varios colores metálicos en tonos de rojo rubí, verde, café y amarillo aplicados en diseños complejos. Hacían diseños florales e inscripciones del Corán, las cualidades de fluidez y elegancia de la escritura cúfica constituían en si misma una decoración muy atractiva que era utilizada para recubrir por dentro y por fuera las mezquitas.



Los azulejos para la decoración de la cúpula de la Roca, en Jerusalén.

El cobalto azul y blanco fue una interesante combinación de colores empleada en la primera época de la cerámica de Iznik (producida desde 1470 hasta 1520). Se utilizaron motivos chinos mezclados con arabescos, como en este panel de azulejos de la cámara de la Circuncisión del palacio de Topkapi en Turquía. En esta época también utilizaron temas florales y animales.

Fig. 81



Mezquita verde de Iznik, llamada así por los azulejos de su alminar. Fig. 82

2) Vajillas

Esta es la mayor rama de la industria de la cerámica blanca que incluye platos, tazas, tazones, fuentes, etc. El diagrama de operación da idea de la complejidad y el gran número de métodos que se disponen para producir y decorar estas piezas.

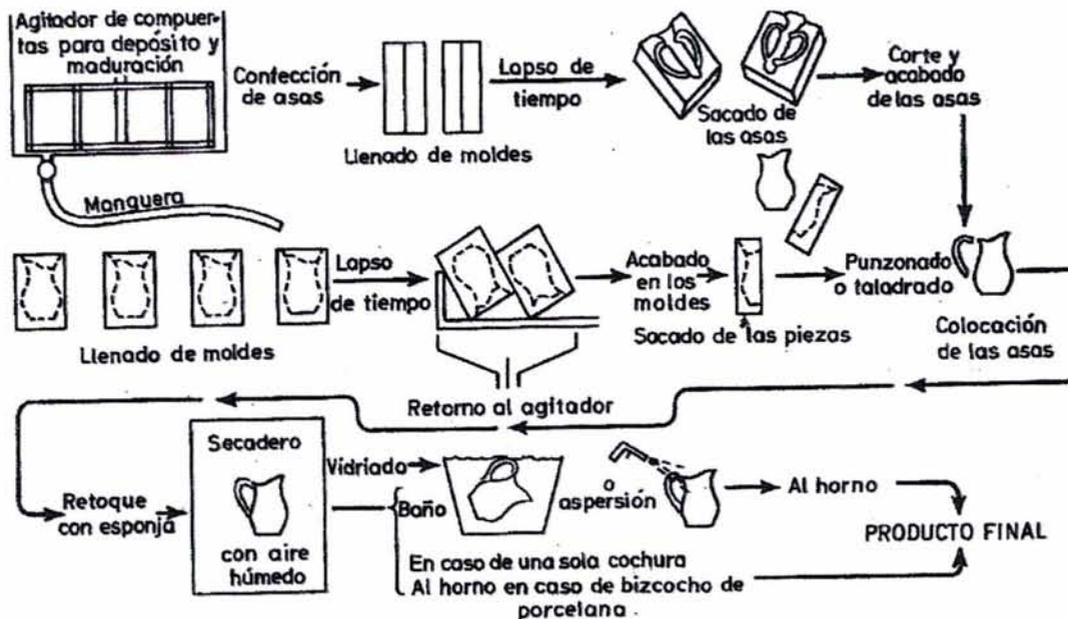


Fig. 83

Los artículos planos como platos y fuentes, se fabrican generalmente en el torno del alfarero; las piezas como jarras suelen hacerse por el método de vaciado de barbotina*, los platos y las tazas se pueden hacer por prensado, las vajillas deben tener una gran resistencia mecánica, poca porosidad y el vidriado debe ser sumamente duro, los decorados pueden ser bajo o sobre vidriado o usar calcomanías.

La vajilla tradicional de uso general comprende tres tipos de composiciones: loza calcaria, suavemente cocida (1000-1080°): arcilla 50%, pedernal 35%, carbonato de calcio 15%; loza mixta de cocción media (más de 1000°): arcilla 50%, pedernal 40%, carbonato de calcio 7.5% y feldespato 2.55; loza feldespática cocida a mayor temperatura (más de 1080°): arcilla 50%, pedernal 45%, feldespato 5%, en cada uno de los tipos se utiliza cierto número de materiales. En el grupo de las arcillas se puede usar caolín o arcillas grasas, del pedernal se puede utilizar cuarzo o arena, de los fundentes calcáreos el carbonato cálcico se puede emplear la tiza y la caliza, son los más comunes, otros fundentes puede ser la piedra de cornwall, talco, pirofilita.

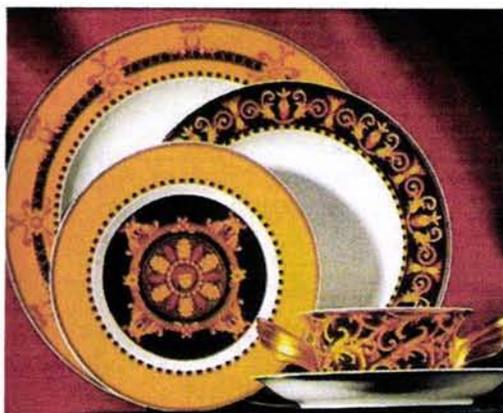


Fig. 84

3) Loza sanitaria

En este ramo de la industria cerámica se fabrican inodoros, fregaderos, lavabos y accesorios de baño, los materiales cerámicos pueden ser de cuerpo vítreo que se vuelve blanco al ser cocido y cubierto con un vidriado transparente o cuerpo semivítreo y de color oscuro cubierto con vidriado blanco opaco, puede prepararse de una sola cochura, por lo general se cuece el vidriado junto con el cuerpo a temperaturas de conos pirométricos* 9-12, en el de doble cocción* el cuerpo se cuece a temperaturas de conos pirométricos 10-11 y después se cuece el vidriado a temperatura de cono pirométrico 4-6.

Por la complejidad de las formas de estas piezas se emplea el método de barbotina que es el método más apropiado para formarlos, la pasta es triaxial y contiene una gran proporción de arcilla entre 50% y 55%, a efecto de que estos artículos pesados puedan sustentar su propio peso en la cochura, esta arcilla debe ser cuidadosamente seleccionada, estas piezas por lo común tienen poca proporción de cuarzo entre el 15% y 18%, solo se pone la cantidad necesaria de cuarzo para evitar el agrietamiento, lo cual es necesario para reducir

cuanto sea posible la rotura por enfriamiento demasiado rápido de la pieza en la zona de enfriamiento en el horno.



Porcelana Fig. 85

- **Gres***

Se define el gres como una pasta que después de cocida es opaca, cuando las pastas porosas se mejoran se vuelven más vítreas y eventualmente resulta una pasta de gres, las pastas vitrificadas finas cuando se requieren para propósitos técnicos pueden admitir tolerancia en las especificaciones referentes al color y translúcidas resultando así mismo un gres, la composición del gres se diferencia de otras pastas por utilizar un 70% de arcilla secundaria, es decir, arcillas grasas las cuales poseen alta plasticidad y elevada resistencia en fresco estas arcillas se vitrifican satisfactoriamente sin temperaturas excesivas debido a su contenido natural de fundente, como potasio, sodio y hierro.

Las propiedades de las pastas de gres dependen de la cocción, es importante la atmósfera que puede ser oxidante, neutra o reductora, como la velocidad de calentamiento y enfriamiento, el tiempo de permanencia en el horno que ayuda a la formación de la estructura cristalina.^[14]

El gres para la industria química se compone, elabora y fabrica cuidadosamente para que tenga poca absorción, mucha tenacidad, gran resistencia a la corrosión, gran resistencia física y alta resistencia contra el choque térmico, en la fabricación de gres se emplea mayor proporción de arcilla, esta puede contener hierro.

1) Gres fino

Las pastas modernas mejor definidas que se utilizan para gres químico o vajilla de mesa son pastas compuestas basadas en: arcilla 30-70%, Feldespato 5-25%, Cuarzo 30-60%.

La proporción de la pasta que se cuece previamente y se introduce como chamota* (arcilla precocida o material de desecho) depende en parte del tamaño de las piezas a fabricar. Las piezas mayores requieren más chamota a fin de impedir la deformación y el agrietamiento pero la pieza cocida resultante es ligeramente más porosa, 2.0-2.5% en comparación con 0.5%. Un mayor contenido de chamota reduce también la resistencia a la tracción resultante.

2) Gres blanco

Una selección cuidadosa de las arcillas, feldespatos y cuarzos junto con una preparación correcta y condiciones de cocción óptimas pueden dar lugar a pastas de gres notablemente mejoradas, las cuales son blancas o están verdaderamente vitrificadas por completo, con absorción nula de agua.

Mejoramiento de la resistencia al choque térmico* del gres

Las piezas elaborados con pasta gres son resistentes a la corrosión, se pueden hacer piezas grandes y gruesas, las piezas hechas con esta pasta deben de tener un buen secado, antes de someterse a la cochura y está debe ser lentamente hasta llegar a la temperatura requerida, y el enfriamiento debe de ser de igual manera.

Los métodos usuales para aumentar la resistencia al choque térmico en cualquier pasta son:

1. Aumento de la porosidad.
2. Aumento de la conductividad térmica.
3. Disminución de la expansión térmica.

El aumento de la porosidad permite que una parte de la expansión térmica se absorba dentro de la pieza por reducción del tamaño de los poros. No obstante, este método debe desecharse para cualquier tipo de gres químico y también para el gres estructural resistente a las heladas, dado que las principales propiedades de ambos dependen de presentar una absorción de agua lo más reducida posible.

El aumento de la conductividad térmica es el método óptimo para mejorar la resistencia al choque térmico del gres químico. Esto se hace normalmente mediante la incorporación de chamota de alta conductividad térmica tal como corindón, carburo de silicio, ferro silicio, silicio del 65-75% o grafito. Esto debe acompañarse de una reducción máxima en la porosidad a fin de eliminar el efecto aislante de los espacios de aire. De este modo puede aumentarse la conductividad térmica desde 0.01 centímetro, gramo, segundo para el gres normal, hasta 0.03-0.05 unidades. Es también beneficiosa la alteración de la composición global de tal modo que la matriz vítrea del gres posea una elevada conductividad térmica.

La reducción en la expansión térmica del gres contribuye notablemente a aumentar la resistencia al choque térmico. Existen dos constituyentes probablemente perjudiciales en la pasta cocida: uno de ellos es la sílice cristalina con sus inversiones y su gran coeficiente de expansión. Un mayor contenido de alúmina en la pasta conduce a la formación de mullita. El empleo de minerales de sillimanita en lugar de cuarzo libre o pedernal favorece considerablemente. El segundo constituyente cuya proporción debe reducirse es la matriz vítrea, la cual debe estar lo más libre posible de fundentes alcalinos.

3) Gres eléctrico

Por la necesidad de contar con aislantes eléctricos de gran tamaño se utiliza la pasta de gres y para mejor esta pasta se agregan compuestos férricos y de titanio. Desgraciadamente el gres ordinario no presenta suficiente resistencia a la perforación. Sin embargo, esta propiedad depende no sólo del espesor de la pieza sino también de su composición química y de la condición física de sus constituyentes. Se logran mejoras por introducción de dióxido de titanio y/o titanatos, obteniéndose mejores valores cuando están presentes juntamente compuestos férricos y titánicos. Pequeñas cantidades de compuestos de cerio, zirconio, cromo, manganeso, fósforo, wolframio o vanadio actúan como mineralizadores en estos tipos de gres de titanato, produciendo cristalización a partir de la fase vítrea*.

- **Refractarios**

El término refractario comprende estrictamente todos los materiales que sirven para la construcción de hornos, hornillos, estufas, retortas, crisoles de fusión.

La industria cerámica en si misma requiere material refractario especial para soportar y proteger los productos cerámicos durante la cocción, deben resistir el calentamiento repetido, no sólo hasta la temperatura de reblandecimiento del material sino del calor extraordinario que hay en las zonas situadas frente a los hogares y quemadores, debe tener resistencia al choque térmico, no puede presentar tendencia al desprendimiento de partículas.

- **Loza blanca y loza semivítrea**

La pasta es porosa, sometida a cocción debe ser blanca, se aplica para preparar vajillas, baldosas para paredes y material sanitario, para mejorar estas pastas se le agrega pedernal calcinado o cuarzo y arena.

- **Porcelana**

La porcelana es una pasta densa y de alta calidad, e intensamente blanca, translúcida, completamente vitrificada se compone en gran parte de aluminosilicato de potasio que se ha utilizado para preparar vajillas y objetos de arte.

Una vez que se descubrieron sus cualidades técnicas de resistencia, refracción relativa, aislamiento eléctrico, se usa para fabricar material químico para los laboratorios, aislante eléctrico tanto de baja así como de alta tensión, las piezas no deben absorber humedad de la atmósfera y deben presentar resistencia mecánica. Descubrimientos más recientes han conducido a la inclusión de materiales completamente distintos de la porcelana tradicional especialmente óxidos refractarios puros, tales pastas pueden contener cantidades muy grandes de uno de los materiales junto con algo de arcilla y fundente, se les denomina frecuentemente “porcelanas” u óxidos sinterizados.



Bodhisattva de porcelana *ching-pai*. Chingtehchen. Dinastía Yuan. Altura: 56 cm. (Fotos cortesía del Museo Nacional de Historia) de China Fig. 86



Jaula de pájaros, siglo XVIII, museo Rijks Amsterdam, Holanda. Fig. 87

1) Porcelana química

La arcilla que se utiliza no debe contener hierro ya que después de cocida debe de ser de color blanco, la pasta es triaxial y se utiliza considerable proporción de caolín, después de la cocción no debe tener ninguna porosidad, cuando se quiere porcelana porosa se debe preparar la pasta adecuada.

Los requisitos que debe cubrir la pasta son: gran plasticidad, alto grado de resistencia mecánica para que se puedan obtener formas complejas que no contenga sales solubles y se elimine fácilmente las impurezas orgánicas mediante la oxidación para obtener resistencia contra la corrosión; que tengan contracción uniforme durante el secado y la cochura; que se efectúe totalmente la vitrificación a temperatura máxima del horno y que haya un intervalo considerable de temperatura entre los puntos de vitrificación y de fusión para evitar deformaciones de cochura, a efecto de que se pueda hacer la fabricación con estrecha tolerancia dimensional.

Las arcillas que poseen estas propiedades rara vez se presentan en la naturaleza y por lo común se emplean fórmulas con varias clases de arcillas como ejemplo tenemos la porcelana que lleva 25% de arcilla, 30% de caolín, 20% de feldespato y 25% de cuarzo. La porcelana para piezas de laboratorio, como crisoles y cápsulas, se hace con feldespato, arcilla y arcilla calcinada, y contiene gran proporción de mulita, (aluminio, sílice, oxígeno) $Al_6Si_2O_{13}$.

Las piezas delgadas tienen gran resistencia contra el choque térmico, lo cual no se puede lograr si contienen cantidad notable de cuarzo. La porcelana porosa para electrolisis, que suele fabricarse por el método de colada de barbotina, se formula de manera que se compacte durante el ciclo de cochura y para ello se suprimen los fundentes esta porcelana se hace con arcilla refractaria, la omisión de fundentes es la diferencia principal entre el grés químico y la porcelana química (cuyo requisito es la densidad y la falta de porosidad), por una parte, y los artículos porosos por la otra que requieren la misma resistencia contra la corrosión y porosidad estrictamente regulada.

- **Aplicaciones que requieren resistencia al desgaste por abrasión o al ataque químico.**

Es un campo donde las cerámicas proporcionan soluciones en condiciones extremas. La resistencia de las cerámicas avanzadas es incluso particularmente eficaz cuando combinan abrasión por deslizamiento y ataque químico.^[19]

Las cerámicas avanzadas proporcionan superficies con alto grado de pulido (microrrugosidad baja hasta 0.01 Ra) con dureza elevada (>9 Escala Mohs).

Se logra así una gran resistencia a la abrasión evitando un excesivo desgaste de otros materiales y componentes.^[19]

Además de numerosas aplicaciones en la industria, estas propiedades proporcionan a las cerámicas una gran variedad de aplicaciones biomecánicas (prótesis quirúrgicas).

Para las aplicaciones que exigen una dureza extrema como en ciertos aparatos, en el mecanizado de alta velocidad o en materiales abrasivos, proponemos una amplia gama de herramientas de corte, rectificadores de muelas, puntas de penetradores Rockwell o Vickers, puntas de rugosímetros, confeccionadas con diamante natural o diamante policristalino. [23]

• Ejemplos de productos

En este campo se encuentran las aplicaciones industriales más comunes de las cerámicas avanzadas, las más utilizadas son: alúminas, zafiros, circonas, carburos y nitruros de silicio. [25]

- Pistones y camisas de bombas
- Casquillos, cojinetes y rodamientos
- Juntas mecánicas de estanqueidad
- Elementos de grifería, válvulas
- Guía-hilos (textiles)
- Boquillas de pulverización
- Relojería (ejes, cristales, cajas, pulseras)
- Artículos de laboratorio
- Prótesis quirúrgicas y dentales
- Conectores de fibra óptica



Fig. 88

2) Porcelana para uso en corriente eléctrica de alta tensión

En la industria eléctrica se emplean los mismos procedimientos que para formar porcelana química; a saber: plástico, torno de alfarero, extrusión y torneado, prensado en caliente y colada. Los cuerpos son algo semejantes, pues contienen proporción relativamente baja de cuarzo (15 a 20%) y relativamente alta de arcilla (45 a 55%) y mucho feldespato para la buena vitrificación.

La resistencia a la puntura eléctrica de estos cuerpos es aproximadamente 200 voltios por 0.001" (0.0254 mm) de espesor. La absorción de humedad debe ser de menos de 0.1%, y las piezas aislantes han de resistir choques térmicos repetidos, del agua hirviendo al agua helada y viceversa.

- **Aplicaciones que requieren resistencia mecánica y/o resistencia a altas temperaturas.**

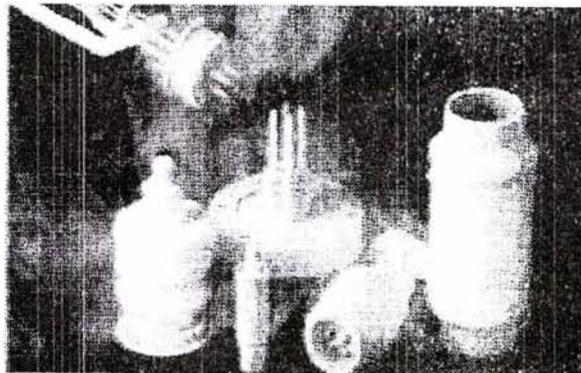
La combinación de gran dureza, elevada resistencia a la flexión y compresión, bajo coeficiente de dilatación y alto punto de fusión, contribuye a privilegiar las cerámicas para aquellas aplicaciones mecánicas y estructurales a altas temperaturas.

Unidas a su gran resistencia al ataque químico, estas propiedades permiten el uso de las cerámicas avanzadas en aplicaciones en alta temperatura y ambientes químicamente agresivos. ^[23]

- **Ejemplos de productos.**

Las cerámicas más utilizadas son las alúminas, mullitas, circonas, los carburos y nitruros de silicio.

- Elementos de cocción (tubos de hornos, cajas, soportes.)
- Metalurgia (cucharas de refinamiento, aluminio, aceros.)
- Crisoles industriales y de laboratorio
- Casquillos y cojinetes
- Juntas mecánicas de estanqueidad
- Elementos de grifería y válvulas
- Quemadores
- Filtros (gases calientes, metales líquidos)
- Rotores de turbo, válvulas
- Matrices de extrusión en caliente
- Piezas mecánicas para trabajo en caliente



Componentes herméticos usados en altas temperaturas, ultra alto vacío. Fig. 89

- **Porcelanas de Zircón**

Las composiciones de porcelana de zircón constan del mineral zircón, $ZrSiO_4$, mezclado con arcilla y fundentes que promueven la vitrificación. También se usan composiciones de zircón-talco.

El primer uso de estos cuerpos en aplicaciones electrónicas se basó en su baja dilatación térmica, que es pareja a la de las aleaciones Fernico o Kovar y a la de los vidrios de borosilicato. Esto permite hacer soldaduras en que intervienen los tres materiales. Los cuerpos de zircón pueden moldearse por el prensado corriente o por métodos de extrusión o de moldeo plástico.

- **Porcelana de Alúmina**

Probablemente el material más importante entre los recién llegados al campo del aislamiento de alta frecuencia es la alúmina. Las propiedades sobresalientes de este material, que lo hacen útil para aislantes de bujías de encendido, lo hacen también útil para aislamiento de alta frecuencia.

Se han descubierto composiciones especiales que poseen bajas pérdidas dieléctricas y califican a los materiales cerámicos de alúmina como materiales electrónicos muy aceptables. La excelente resistencia mecánica de la alúmina (sus resistencias a la flexión y al impacto son dobles que las de la esteatita) es una ventaja en los aisladores expuestos a choque mecánico o cuando se necesitan secciones transversales pequeñas. Entre sus usos típicos figuran los terminales herméticamente cerrados para transformadores, cajas de condensadores, relevadores, interruptores o motores.

Estos cierres pueden hacerse fundiendo un revestimiento de plata, mezclado con una pequeña cantidad de fundente vítreo, a la superficie cerámica. La superficie metalizada es adecuada para hacer un cierre de metal-cerámica con soldadura blanda, pues la soldadura blanda tiene suficiente flexibilidad para que el ajuste de dilatación entre el metal y la cerámica no resulte tan importante como en los cierres con soldadura dura.

El óxido de aluminio (Al_2O_3) usado como materia prima para la cerámica de alúmina, ha de ser puro y contener cantidades ínfimas, o nada, de óxidos alcalinos y alcalinotérreos, pues estos contaminantes son muy perjudiciales para las propiedades eléctricas de los cuerpos resultantes. La composición de las porcelanas de alúmina varía desde aproximadamente 80% de óxido de aluminio (Al_2O_3) hasta 99.0 del mismo. Las temperaturas de sinterización* dependen del contenido del óxido y de la cantidad y tipos de fundentes o minerales agregados al cuerpo.

La alúmina pura requiere temperaturas del orden de $1800^{\circ}C$ para obtener porosidad cero y hermeticidad al vacío. Una porcelana con mas de 99.0 del óxido tiene las siguientes propiedades; peso específico, 3.85; conductividad térmica, 159.2 cal./ (hora) (cm^2)

(°C./cm); coeficiente de dilatación (25-593°C), 4.3×10^{-6} ; resistencia dieléctrica (voltios/mm), 11800; constante dieléctrica (25°C y 1 Mc.), 9.6; factor de potencia (25°C y 1 Mc.), 0.007; factor de pérdida, 0.003, valor Te (temperatura a la cual un cubo de 1 cm de lado tiene una resistencia de 1 mega ohmio), 840°C.

- **Cerámica especial para uso electrónico**

La industria electrónica requiere material con propiedades específicas, que sean resistentes al calor, que no se quemen, que no se oxiden, ni se descompongan con desprendimiento de gases cuando se calienta y el modelo de elasticidad de estos materiales es del mismo orden de magnitud que el del acero, los materiales cerámicos conservan las propiedades dieléctricas hasta temperaturas relativamente altas.

La esteatita de baja pérdida dieléctrica es la materia cerámica de uso más general en aplicaciones electrónicas. Entre los materiales con poca pérdida dieléctrica ninguno le aventaja en economía de manufactura especialmente en formas que pueden fabricarse por prensado automático en seco o por método de extrusión. El talco $Mg_2(Si_2O_5)_2(OH)_2$ es un mineral blando y de fácil adquisición.

Cerámicas eléctricamente conductoras.

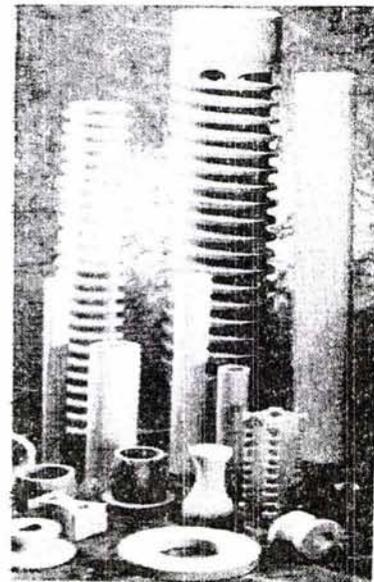
Los carburos de silicio por ejemplo que son utilizados como resistencias eléctricas hasta 2000°C en atmósfera controlada.

Otras cerámicas pueden ser conductoras también por inclusión de cargas como los carburos de titanio (TiC) o nitruro de titanio (TiN) en su estructura, lo que incrementa su dureza, para electroerosión. Zircón-TiC, nitruro de silicio (SiN) son los más conocidos por su uso en herramientas de corte, formación de matrices).

[16]

Ejemplos de productos aislantes

- Substratos electrónicos
- Cajas de conectores electrónicos
- Boquillas de soldadura (MIG, TIG) y corte
- Posicionadores para soldadura
- Elementos electrotécnicos
- Pirometría
- Cajas de tiristores (AlN)

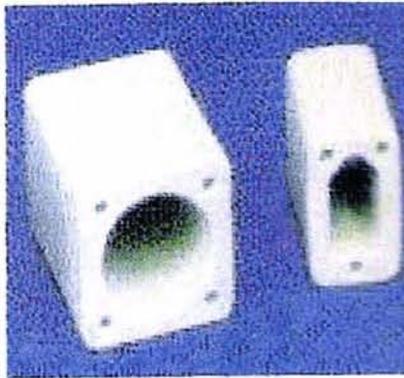


Piezas varias para uso eléctrico. Fig. 90

- **Aplicaciones que requieren altas propiedades dieléctricas**

Cuando se necesita aislamiento eléctrico de alta confiabilidad. Las alúminas de alta pureza sustituyen con ventaja a las porcelanas y a la esteatita en componentes eléctricos de gran fiabilidad, incluso a temperatura elevada. Solidez mecánica y resistencia al choque térmico unidas a una alta resistencia eléctrica de volumen y de superficie, alta resistencia dieléctrica y pérdidas dieléctricas mínimas en alta frecuencia, hacen de las alúminas un material imprescindible para la fabricación de componentes eléctricos de alta tensión, de componentes electrónicos miniaturizados de gran seguridad de funcionamiento y larga vida útil. ^[23]

Con propiedades eléctricas comparables a la alúmina pero con una buena conductibilidad térmica, los nitruros de aluminio son escogidos como soportes radiadores de calor. ^[23]



Cajas de conectores electrónicos. Fig. 91

3) Porcelana eléctrica para baja tensión

La resistencia a la puntura eléctrica de esta clase de porcelana es aproximadamente de 25 voltios por 0.001" de espesor. La absorción de agua varía entre 0.4 y 1.5%. Los procedimientos que se emplean son: 1) prensado en seco con 15 a 17% de humedad; 2) colada. El primero de éstos consiste en prensar composiciones cerámicas granulares en moldes de acero. Para obtener mayor presión, las prensas hidráulicas están reemplazando rápidamente a las viejas prensas ordinarias de tornillo. Este procedimiento no produce un cuerpo enteramente vítreo por razón de que los materiales granulares atrapan aire durante el período de formación. Aplicando vacío durante el prensado de la pieza, se reduce considerablemente la absorción del cuerpo cocido.

4) Porcelana para bujías de encendido

Los fuertes choques térmicos y las altas temperaturas que se producen en motores de combustión interna han incluido por muchos años el uso de porcelanas triaxiales como consecuencia del aumento de potencia alcanzando en dichos motores, se han inventando composiciones y procedimientos especiales de fabricación de bujías de encendido.

Los tipos de composiciones, se nombra según los componentes principales por ejemplo: las composiciones de alúmina abarcan una amplitud de 87 a 100% de (óxido de aluminio) Al_2O_3 . La alúmina pura se denomina corindón sinterizado.

Las dos propiedades importantes que debe tener la porcelana para bujías de encendido son: resistencia al choque térmico y poca conductibilidad eléctrica a altas temperaturas propiedades que hacen que disminuya el número de composiciones posibles, el procedimiento para la fabricación de bujías de encendido es la extrusión de piezas, el torneado, cuando la pieza está en dureza de cuero se le da forma final (previendo la contracción del cuerpo al secarse y cocerse) otro método que se está usando actualmente es el prensado en polvo y el proceso de resina plástica el método de resinas plásticas consiste en mezclar resinas termoestables con los otros componentes (algunas veces óxidos casi puros, como la alúmina) y formar las bujías de encendido mediante el procedimiento usual de moldeado por comprensión de baquelita. Las altas temperaturas de cocción (1650 a 1815°C) destruyen el aglutinante. También se han empleado resinas termoplásticas, formando las piezas mediante el moldeado por inyección.

5) Materiales aislantes para alta frecuencia

Las porcelanas triaxiales sirven para aislamiento de baja frecuencia (60 ciclos por segundo), más para altas frecuencias que se encuentran en las ramas de radio y similares, estas porcelanas ocasionan grandes pérdidas por el dieléctrico, razón por la cual se necesita una nueva clase de composición cerámica que reduzca estas pérdidas.

Las composiciones más eficaces son las llamadas esteatitas, término cuyo significado se ha ido extendiendo hasta abarcar todo material cerámico sintético cuya principal materia prima es el talco y su principal fase cristalina es el metasilicato de magnesio. La pasta se compone de talco, pequeña cantidad de arcilla, de óxidos alcalinotérreos (o de compuestos que formen los óxidos durante la cocción) y aglutinantes* orgánicos que facilitan la formación y la preparación de la pieza por prensado. Este material se designa material radiocerámico aislador de clase L en las especificaciones de la American Standards Association.

Las piezas de radio de este material suelen ser pequeñas y se obtienen por prensado automático, otros materiales para aislamiento de alta frecuencia es la clase H de la American Standards Association que comprende piezas hechas en Óxido de titanio TiO_2 o titanatos, las cuales se usan para la construcción de condensadores y en el campo de las microondas, como medios ópticos, estos materiales se distinguen por su alta constante dieléctrica.

1) Ejemplos de productos de porcelana de alúmina y zircón

En el campo de la medicina uno de los sectores donde se van imponiendo los materiales cerámicos es en la odontología y la ortopedia, específicamente en el reemplazo de huesos y dientes.^[3]



Fig. 92



Fig. 93

Materiales cerámicos empleados en sistemas biológicos

Varios tipos de huesos artificiales y material de implante (como el de cadera) han sido desarrollados y puesto su uso en práctica. Usando hidróxido de apatita, alúmina y zirconio estos productos toman un avance de nuevas cerámicas fuertes y capaces de ser aprovechadas en el cuerpo humano; el diseño superficial de prótesis de cadera ha sido investigado para identificar y cuantificar el desgaste producido por diferentes combinaciones de los componentes de la prótesis de la cadera.^[4]



Huesos artificiales para implantes. Fig. 94, 95

- **Sensores**

Los sensores son dispositivos que se han utilizado en forma importante en muchos procesos industriales para detectar temperaturas, presiones, humedad y gases. Un ejemplo de utilización de material cerámico en esta área son los dispositivos pizoelectricos, termistores de coeficientes de temperatura negativa, resistores de coeficiente de temperatura positiva, varistores, sensores de oxígeno, sensores de combustibles o gases tóxicos y sensores térmicos piroeléctricos. ^[35]

Funciones químicas	
Materiales	Aplicaciones
-Sensores de gas (ZnO, Fe ₂ O ₃ , SnO ₂)	-Alarmas para fugas de gas, ventiladores automáticos, detectores de flúor o carbono.
-Sensores de humedad (MgCr ₂ O ₄ -TiO ₂)	-Elementos de control de cocimiento en hornos de microondas.
-Portadores catalíticos	-Portadores catalíticos por control de emisión.
-Catalizadores orgánicos	-Portadores de enzimas, zeolitas*.
-Electrodos (titanatos, sulfatos y boratos)	-Procesos fotoquímicos, producción de cloro.

cuadro 5

- **Cerámicas reforzadas.**

Aptas para utilizarse en herramientas de corte, componentes de motores térmicos y para componentes de procesos industriales en los que se hallan presentes desgastes, ambientes corrosivos y altas temperaturas. Estas cerámicas se obtienen adicionando fibras largas o cortas para que bloqueen el crecimiento de grietas, aumentando su tenacidad. ^[3]

Funciones mecánicas	
Materiales	Aplicaciones
-Herramientas de corte (Al ₂ O ₃ , TiC, TiN, otros)	-Herramienta cerámica, herramienta cernmet, diamante artificial, herramienta nitrurada.
-Materiales resistentes al uso (Al ₂ O ₃ , ZrO ₂)	-Sensores de presión, selladores mecánicos, tiralíneas cerámicos, cojinetes, guías de tarraja.
-Materiales resistentes al calor (Al ₂ O ₃ , Si ₃ N ₄ , SiC, otros)	-Motores cerámicos, álabes de turbina, intercambiadores de calor, quemadores para soldadura, crisoles para combustión a alta frecuencia.

Cuadro 6

IV. PARTE EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

El diseño de la cerámica a través del tiempo ha sido creativo buscando la funcionalidad, lo estético y sus aplicaciones.

Una aplicación se realizó en el laboratorio de química inorgánica de la Facultad de Química de la UNAM

Para obtener objetos cerámicos de empleo en un Laboratorio de Química, es necesario que éstos cumplan con ciertas especificaciones: resistencia al ataque químico, resistencia mecánica y resistencia al choque térmico. En este proyecto se analizaron arcillas de varias partes de la Republica Mexicana escogiéndose una de Hidalgo que comercialmente se le conoce como arcilla Fonds y se realizó el estudio comparativo con una arcilla de origen extranjero de Kentucky, Estados Unidos, llamada OM4, ya que son parecidas en su composición y no contienen fierro.

Para realizar la comparación, las arcillas fueron caracterizadas por el método de análisis de Rayos X; utilizando el difractor de rayos X Broker-Axs-D8-Avance con Radiación de cobre K alfa 35 volts 30 miliampers velocidad promedio $2^\circ \theta$ x minuto.

Las arcillas fueron preparadas de la siguiente manera: de cada una de las arcillas se pesan 5 g. se secan en una estufa a 110°C y se muelen en un mortero de ágata, para reducir las a un polvo fino con tamaño ideal de partícula de 4μ es decir, malla 325, compactándose el polvo en una cavidad de 2.5 cm^2 con espesor de 3 mm.

Las arcillas de la Republica Mexicana seleccionadas y caracterizadas por el método de Rayos X fueron:

Estado de Hidalgo I

Arcilla # 1 se encontró que contiene:
Cuarzo SiO_2
Halloysita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Montmorillonita $\text{CaO}_2(\text{Al},\text{Mg})\text{Si}_40.10(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$
Cristobalita SiO_2
Albita desordenada $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Estado de Hidalgo 2

Arcilla # 2 se encontró que contiene:
Cuarzo SiO_2
Albita desordenada $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Cristobalita SiO_2
Halloysita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Montmorillonita $\text{CaO}_2(\text{Al},\text{Mg})\text{Si}_40.10(\text{OH})_2.4\text{H}_2\text{O}$
Soniderita $\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Estado de Hidalgo 3

Arcilla # 3 tipo arena se encontró que contiene:
Montmorillonita $\text{CaO}_2(\text{Al,Mg})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Cuarzo SiO_2
Cristobalita SiO_2
Halloysita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Albita desordenada $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Ilmenita FeTiO_3
Moscovita $(\text{K,Na})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si}_3\text{AlO}_9)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Estado de Hidalgo 4

Arcilla # 4 se encontró que contiene:
Cuarzo SiO_2
Anortita ordenada $(\text{Ca, Na})(\text{Al,Si})_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Moscovita $(\text{K,Na})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si}_3\text{AlO}_9)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Caolinita $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$
Montmorillonita $\text{NaO}_3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Estado de Hidalgo 5
Arcilla comercialmente
Llamada Fonds

Arcilla # 5 se encontró que contiene:
Cuarzo SiO_2
Anortoclasa desordenada $(\text{Na,K})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$
Albita ordenada $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Caolinita $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$
Hidróxido de silicoaluminato de potasio y magnesio
 $\text{K}(\text{Mg,Al})_2\text{O}_4(\text{Si}_3,34\text{Al}0.66)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Talco $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Estado de Veracruz 6

Arcilla # 6 se encontró que contiene:
Calcita CaCO_3
Cuarzo SiO_2
Montmorillonita $\text{NaO}_3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Albita desordenada $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$
Moscovita $(\text{K,Al})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si}_3,1\text{Al}0.9)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Estado de Oaxaca 7

Arcilla # 7 se encontró que contiene:

Calcita CaCO_3

Cuarzo SiO_2

Albita $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Montmorillonita $\text{Na}(\text{Al, Mg}) \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_{10}$

Moscovita $\text{KA}_{12}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

Anortita $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Estado de Oaxaca 8

Arcilla #8 Se encontró que contiene:

Cuarzo SiO_2

Albita desordenada $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Montmorillonita $\text{Na}(\text{Al, Mg}) \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_{10}$

Moscovita $(\text{K, Al})(\text{Al, Mg, Fe})_2(\text{Si}_{3.1}\text{Al}_{0.9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Hematita Fe_2O_3

Anortita $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Caolinita $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$

Estado de Michoacán 9

Arcilla # 9 se encontró que contiene:

Albita $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Illita $\text{K}(\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$

Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Cuarzo SiO_2

Geotita $\text{FeO}(\text{OH})$

Estado de Michoacán 10

Arcilla # 10 se encontró que contiene:

Cristobalita SiO_2

Anortita $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{AlSi})_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$

Cuarzo SiO_2

Moscovita $(\text{K}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}_{3-1}\text{Al}_{0.9})_{10}(\text{OH})_2$

Halloysita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Geotita $\text{FeO}(\text{OH})$

Estados Unidos 11

Arcilla # 11 OM4 se encontró que contiene:

Cuarzo SiO_2

Anortoclasa $(\text{Na}, \text{K})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Caolinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$

Illita $\text{K}(\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$

Albita desordenada $\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Ortoclasa $\text{NaK}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$

Tridimita SiO_2

Preparación de las pastas

Se prepararon dos pastas de porcelana utilizando: arcilla 50%, 25% de caolín y 25% de feldespato. Para la primera pasta, se seleccionó la arcilla de Hidalgo #5 se prepararon 5 kilogramos en total, pesando de arcilla 2.5 kilogramos, de feldespato 1.25 kilogramos y caolín 1.25 kilogramos; se mezclaron y se agregaron en 2.5 litros de agua mas 20 mililitros de silicato de sodio; se deja reposar durante 2 semanas, se mezcla, a esta mezcla se le conoce como barbotina, misma que es vaciada en moldes de yeso El mismo procedimiento se emplea con la arcilla de origen norteamericano, misma que cumple con las especificaciones requeridas.

Con estas pastas se preparó material para ser utilizado en los laboratorios de Química como fueron: Crisoles y cápsulas. Es necesario que la pasta después de cocida sea blanca, que tenga resistencia mecánica, resistencia al choque térmico, resistencia al ataque químico; para lograr lo anterior es necesario obtener la estructura de la Mullita.

La mullita son cristales alargados que forman la red estructural de la pasta cerámica que facilitan el desarrollo de mejor unión entre el vidriado y la pasta. Es un silicato de aluminio ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) que comienza a formarse a una temperatura entre ($1010^\circ C$ y $1200^\circ C$), esta formación, es la que va a proporcionar mayor dureza a la pasta cerámica, mayor resistencia mecánica, mayor resistencia al choque térmico y mayor resistencia al ataque químico,

Los objetos preparados se sometieron a una temperatura de $1200^\circ C$, para conocer los cambios que se produjeron en las arcillas a esta temperatura, el material se analizó, por medio de los rayos X, y se logra observar la formación de la estructura conocida como mullita; que es lo que se deseaba obtener.

Los resultados fueron:

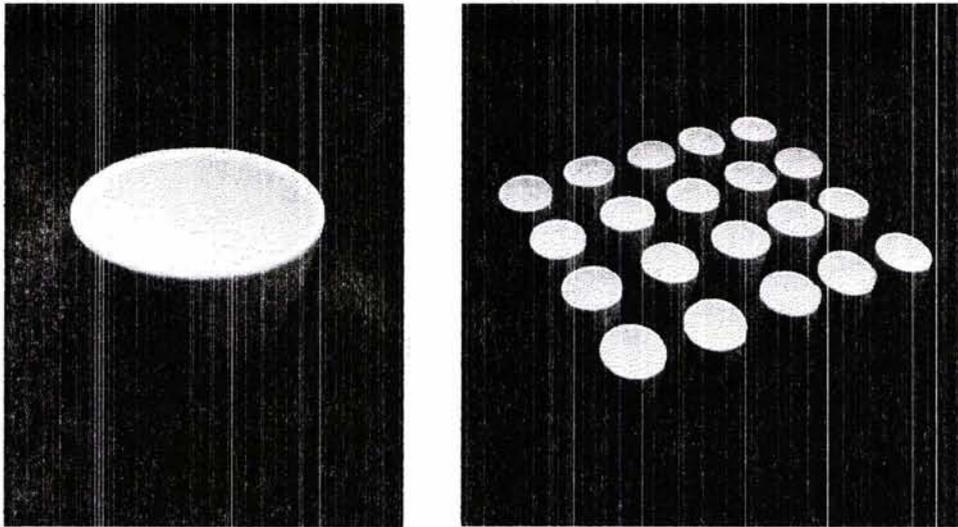
En la arcilla de Hidalgo:

Cuarzo SiO_2 Mullita $Al_6Si_2O_{13}$ Cristobalita SiO_2
--

En la pasta de E. U. OM4

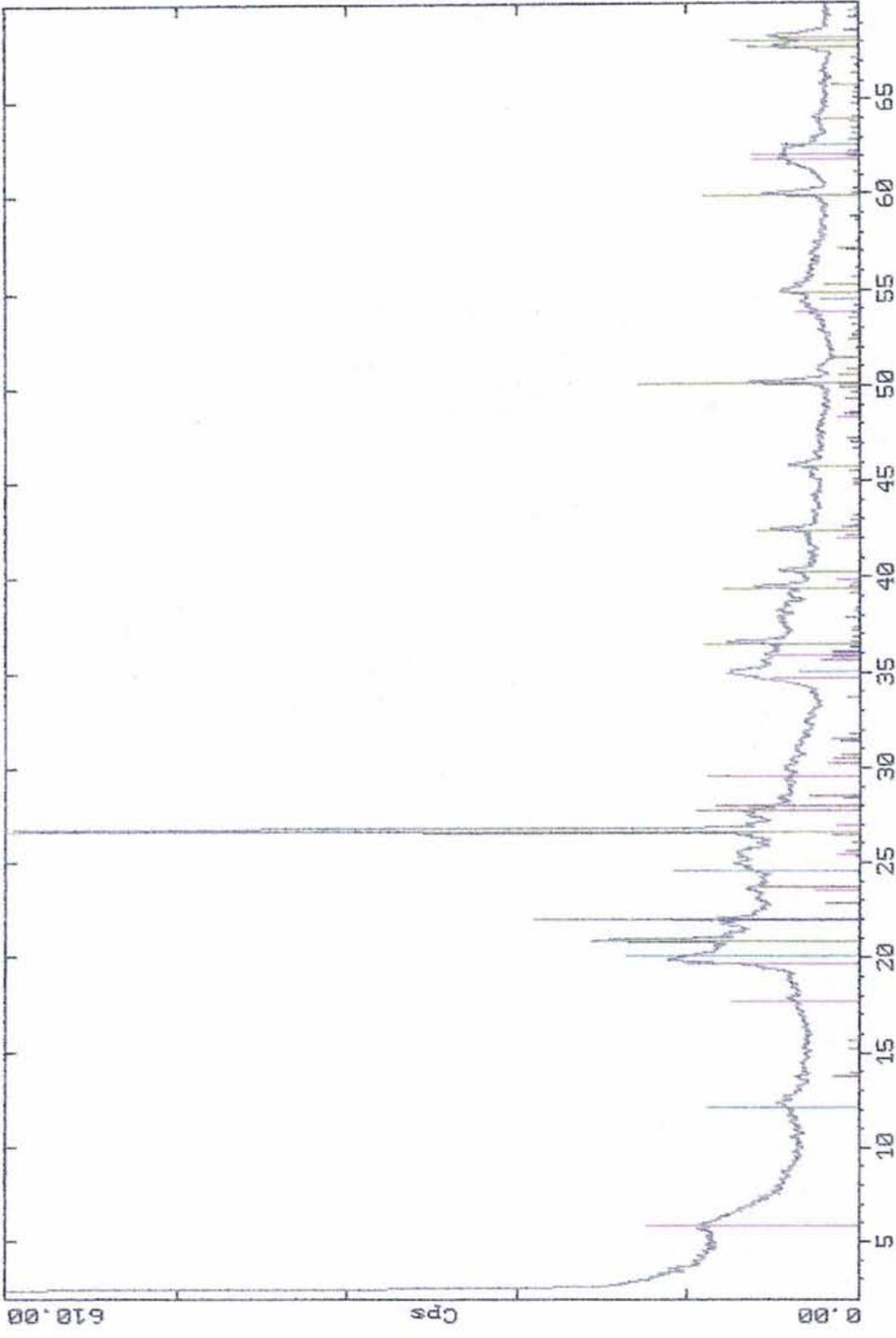
Cuarzo SiO_2 Mullita $Al_6Si_2O_{13}$ Tridimita SiO_2

En las dos pastas se logró la formación de la estructura de mullita, indicando que, los objetos preparados, van a tener resistencia mecánica y resistencia al choque térmico, cumpliendo con los requerimientos del material para uso de los laboratorios



Crucibles hechos con las dos pastas. Fig. 96

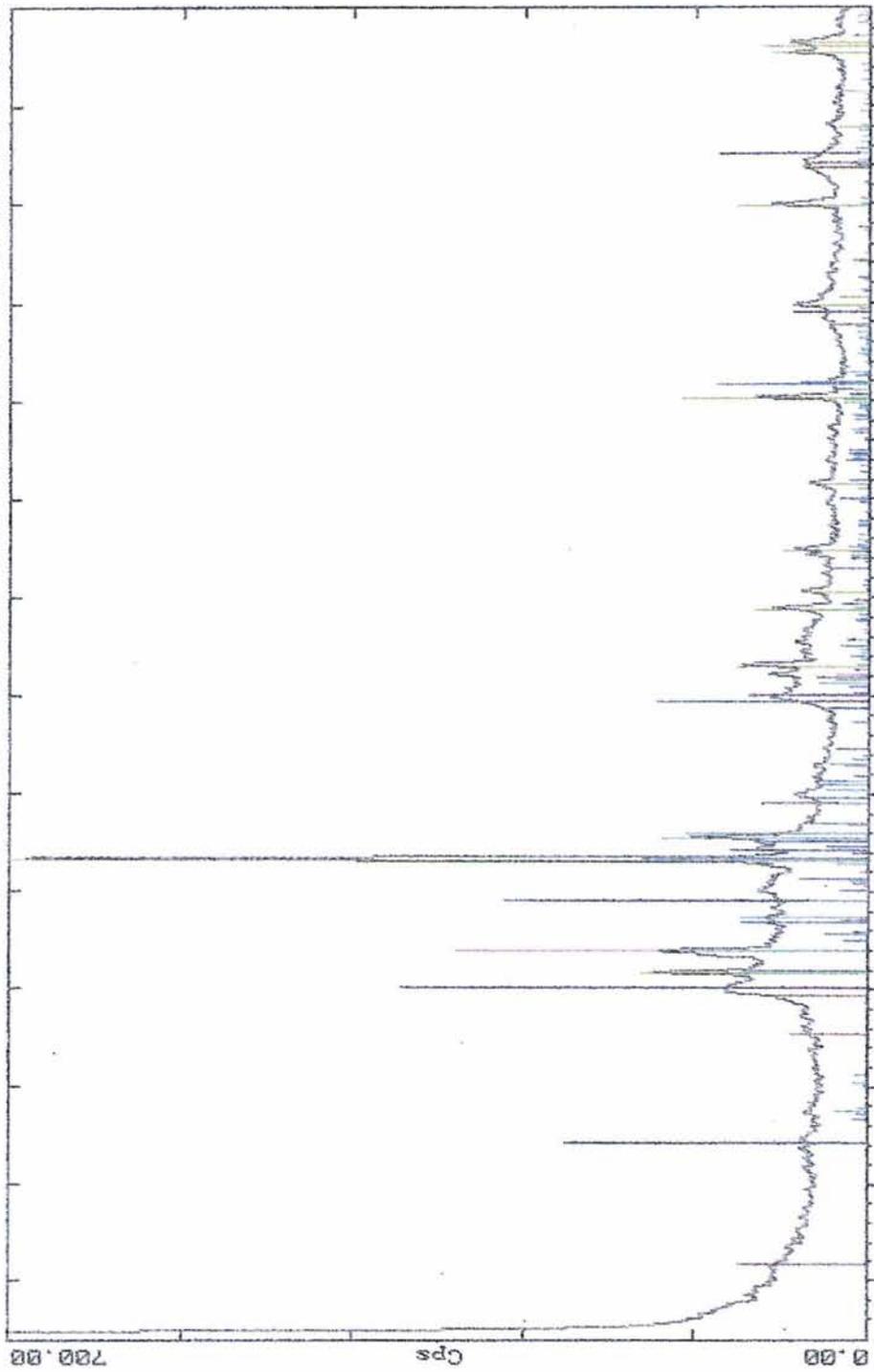
2-Theta - Scale



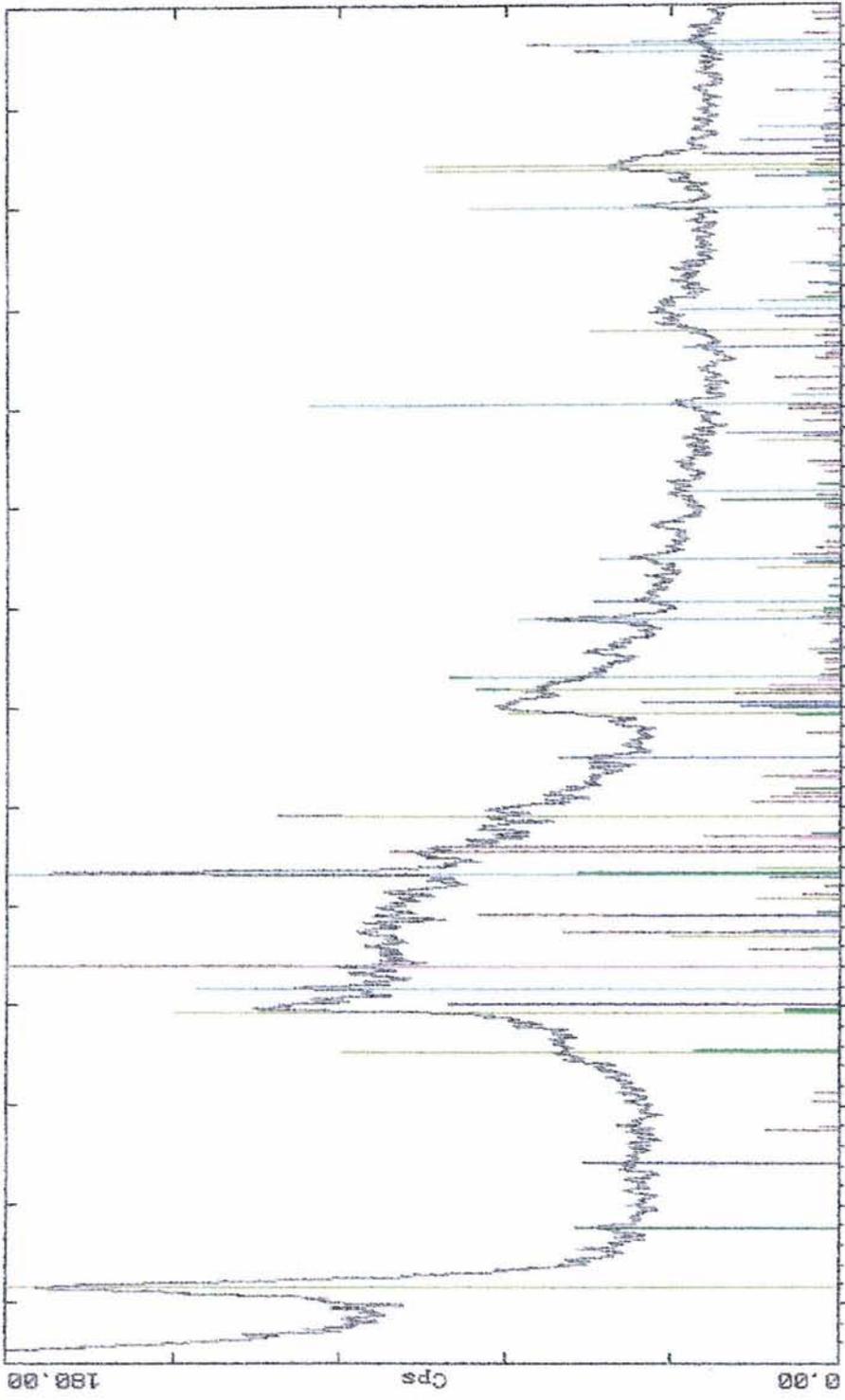
- A:\NW-HID1.RAW\W-HID1 HIDALGO 1 (CT: 0.6s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao, TC : Room)
- 46-1045 * SiO2 Quartz, syn (WL: 1.5406Ao)
- 29-1487 * Al2Si2O5(OH)4 Halloysite-7A (WL: 1.5406Ao)
- 13-0135 Ca0.2(Al,Mg)2Si4O10(OH)2.4H2O Montmorillonite-15A (WL: 1.5406Ao)
- 39-1425 * SiO2 Cristobalite, syn (WL: 1.5406Ao)
- 20-0572 D NaAlSi3O8 Albite, disordered (WL: 1.5406Ao)

Hidalgo 1

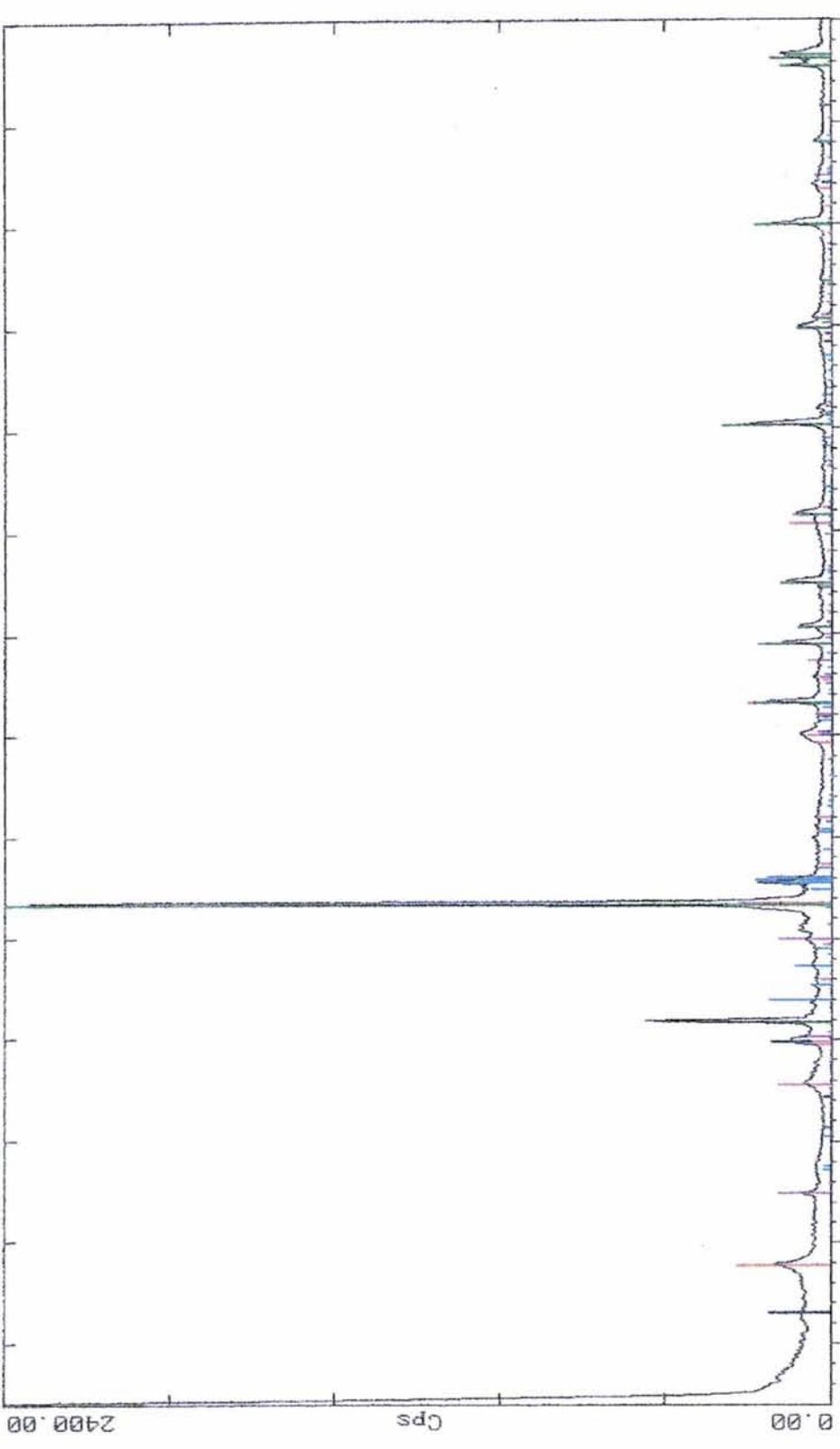
2-Theta - Scale



A:\N-HID2.RAW N-HID2 HIDALGO 2 (CT: 0.6s, SC:0.010dg, WL: 1.5406Ao, TC: Room)
 46-1045 * SiO2 Quartz, syn (WL: 1.5406Ao)
 20-0872 D NaAlSi3O8 Albite, disordered (WL: 1.5406Ao)
 39-1425 * SiO2 Cristobalite, syn (WL: 1.5406Ao)
 29-1487 * Al2Si2O5(OH)4 Halloysite-7A (WL: 1.5406Ao)
 13-0135 Ca0.2(Al,Mg)2Si4O10(OH)2.4H2O Montmorillonite-15A (WL: 1.5406Ao)
 25-0618 * K(Si3Al)O8 Sanidine, disordered (WL: 1.5406Ao)

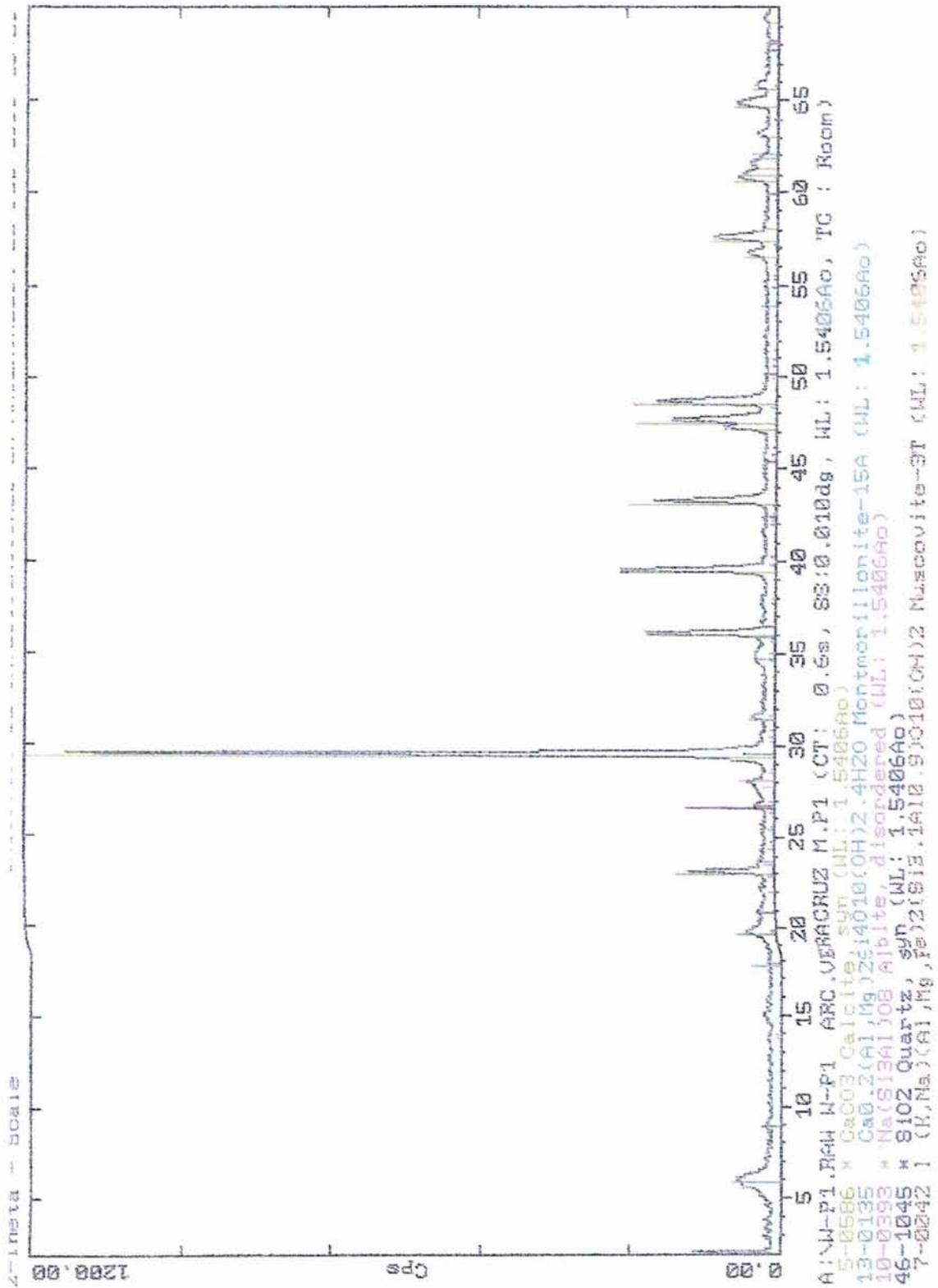


Al₂Si₂O₇(OH)₂·nH₂O
 13-0135 CaO, 2(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂·4H₂O-Montmorillonite-15A (WL: 1.5406Å)
 46-1045 * SiO₂ Quartz, syn (WL: 1.5406Å)
 39-1425 * SiO₂ Cristobalite, syn (WL: 1.5406Å)
 29-1487 * Al₂(OH)₄ Halloysite-7A (WL: 1.5406Å)
 20-0572 D NaAl₃Si₃O₈ Albite, disordered (WL: 1.5406Å)
 7-0733 * FeTiO₃ Ilmenite, syn (WL: 1.5406Å)
 7-0042 I (R,Na)(Al,Mg,Fe)₂(Si₃Al₁₀S₉)O₁₀(OH)₂ Muscovite-3T (WL: 1.5406Å)



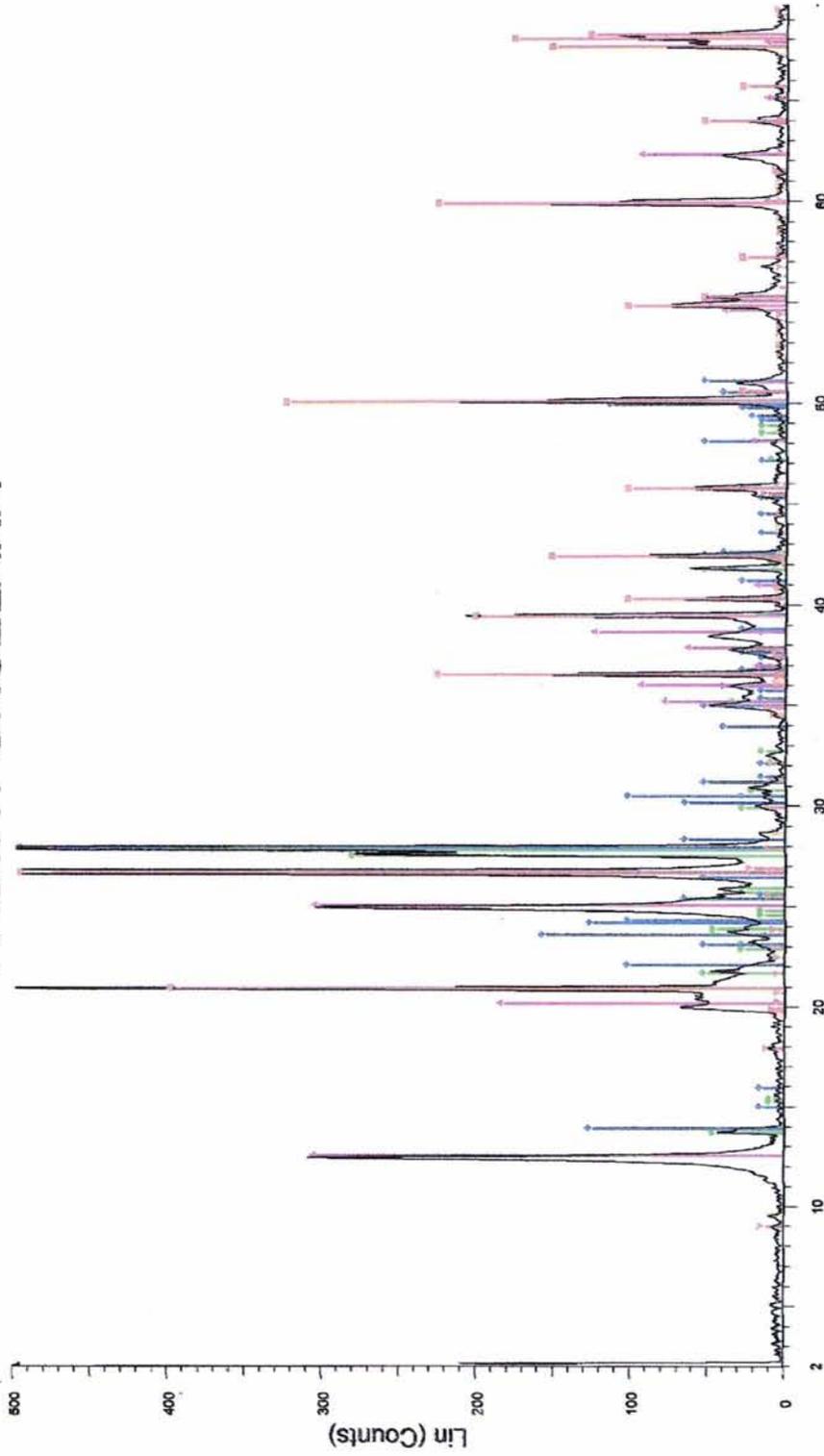
A:\W-P-0.RAW W-F-0 ARC.FONS NATURAL (CT: 0.6s, SS:0.010dg, WL: 1.5406Ao, TC : Room)
46-1045 * SiO2 Quartz, syn (WL: 1.5406Ao)
20-0528 C (Ca,Na)(Al,Si)2Si2O8 Anorthite, sodian, ordered (WL: 1.5406Ao)
7-0042 I (K,Na)(Al,Mg,Fe)2(Si3,Al)0.9O10(OH)2 Muscovite-3T (WL: 1.5406Ao)
29-1488 Al2Si2O5(OH)4 Kaolinite-1M (WL: 1.5406Ao)
29-1498 * Na0.3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2.4H2O Montmorillonite-15A (WL: 1.5406Ao)

Hidalgo 4



Veracruz 6

PASTA PORCELANA



PASTA PORCELANA - File: Wp-por.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 70.000 ° - Step: 0.010 ° - Step time: 0.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 °
 Operations: Background 0.120,0.000 | Smooth 0.100 | Import
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 100.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - I/Ic PDF 3.4 - S-Q 43.8 % -
 09-0478 (l) - Anorthoclase, disordered - (Na,K)(Si₃Al)O₈ - Y: 12.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/Ic PDF 1. - S-Q 18.7 % -
 08-0466 (*) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈ - Y: 25.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - I/Ic PDF 2.1 - S-Q 17.8 % -
 28-1488 (N) - Kaolinite-1Md - Al₂(OH)₄ - Y: 12.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/Ic PDF 1. - S-Q 18.3 % -
 40-0020 (*) - Potassium Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide - K(Mg₂Al₂O₄(Si₃Al₂O₆)(OH)₂ - Y: 0.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/Ic PDF 1. - S-Q 1.2 % -
 28-1489 (N) - Talc-2M - Mg₃(OH)₂ - Y: 0.19 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - I/Ic PDF 1. - S-Q 0.3 % -

VI. CONCLUSIÓN

Desde que apareció la primera escuela de diseño la "Bauhaus", se estableció la relación que existe entre los conceptos de diseño y los materiales que se utilizan. El comportamiento de los materiales se relacionan con las características físicas y químicas, y en el caso de los materiales cerámicos el diseñador especialista en cerámica puede auxiliarse de los conceptos básicos y con ello entender como reaccionan los materiales después de que se les somete a diferentes temperaturas ya que de esto depende la buena realización del proyecto de diseño de las piezas cerámicas. Una técnica que se desarrolló es la de los rayos "X" que nos ayudara a conocer la composición de los materiales cerámicos. Por todo esto podemos concluir que:

-Es recomendable la aplicación de tecnología de "Rayos X" para la caracterización de las arcillas que se emplean en el diseño de piezas cerámicas.

-A pesar de que ahora contamos con la tecnología se puede obtener más certeza de los materiales pero la parte experimental no la podemos dejar de realizar y en consecuencia obtener la calidad y características que se desea alcanzar para una buena aplicación.

-El diseñador industrial especializado en cerámica puede seleccionar sus materias primas para obtener las pastas que el preestablezca si conoce las características físicas y químicas de los materiales que utiliza y el producto cerámico que desea obtener

-En México existen grandes yacimientos de arcillas, que pueden ser utilizadas en la elaboración de diferentes productos cerámicos, estos materiales cerámicos deben estar caracterizados para poder tomar en cuenta sus propiedades físicas y químicas lo que permitiría optimizar los objetos por fabricarse.

- Pero en México existe el problema de la falta de estandarización de las arcillas cosa que se debería exigir por los industriales, previamente a la compra del material.

- En este trabajo interdisciplinario entre química y el diseño industrial especializado en cerámica, se presenta el análisis de las composiciones químicas de los principales materiales cerámicos, conocimiento indispensable para la selección de estos y las posibilidades de combinarse, esto ayudara a obtener mejor la aplicación del objeto diseñado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Avgustinik, A.I. CERÁMICA. Primera edición. Editorial Reverté, S.A. Madrid, 1983.
- [2] Betejtin, A. CURSO DE MINERALOGÍA. Segunda Edición. Editorial Mir. Moscú, 1970.
- [3] Bilurdina, A. Luis. "Materiales no metálicos resistentes a la corrosión". Barcelona, Marcombo Boixareu Editores, 1990. Páginas 107 – 150.
- [4] Bowen, H. Kent. "Materiales para el desarrollo económico". En: Revista Investigación y Ciencia, vol. 123, México 1986.
- [5] Bucio Galindo Lauro. Calculo de las Contribuciones a las Intensidades de los Haces de Rayos X por un sólido Cristalino en Polvo por Técnicas Difractométricas en Óxidos Cerámicos. U.N.A.M. México, 1994.
- [6] Conrad W. JOHN Tecnicas de Cerámica Ed Prentice –Hall –INC Englewood Eliffs, New Jersey, 1989.
- [7] Cooper Emmanuel, Historia de la Cerámica, Barcelona, CEAC, 1987.
- [8] Deer, W.A. AN INTRODUCTION TO THE FORMING MINERALS. LONGMAN Scientific & Technical. Copublished in the United State with Wiley & Sons Inc. Sixteenth Impression. New York, 1989.
- [9] Díaz de Cossio Alberto, Álvarez Francisco Javier, La Cerámica Colonial y Contemporánea, Ed. FONART, México, 1986.
- [10] Halmilton, David. Gres y Porcelana Ed. Ceac, Barcelona, 1985.
- [11] Hurlbut, Jr Cornelius. S. MANUAL DE MINERALOGÍA DE DANA. Segunda edición. Editorial Reverté. Barcelona, 1981.
- [12] Ibers James A.; Hamilton Walter C. INTERNATIONAL TABLES FOR X-RAY CRYSTALLOGRAPHY. The international union of crystallography. Volumen IV. Birmingham, England, 1974.
- [13] J. Bermúdez, Métodos de Difracción de rayos X, Principios y Aplicaciones, Ed. Pirámide, México, 1981.
- [14] Josie Warshaw, The Complete Practical Potter, Ed. Annes Publishing, London, 1999.
- [15] Kenny John, Diseño de cerámica, Ed. Chilton Book Company, Philadelphia New York London, 1970.
- [16] Kirk-Othmer, Enciclopedia de Tecnología Química. Vol. 6 Ed .Uthea, México, 1962.
- [17] Larker, Hans, T. "Los materiales cerámicos de gran capacidad representan una alternativa capaz de competir". En: Revista ABB, vol. 2, 1988.

- [18] Mackenzie, R. C. Differential thermal analysis. Volumen I. Academic Press, London, 1970.
- [19] Merelo, C. Francisco. "Materiales y procesos avanzados: Materiales de alta tecnología". Madrid: Tecnología y Gestión de la Innovación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1993. Páginas 135 – 186.
- [20] Museo de Banpo época Neolítica, ciudad de Xian, China, 2001.
- [21] Nelson C. Glenn Cerámica Manual para el Alfarero, Ed. Editorial Continental, S.A. de C. V. Mexico, 1982.
- [22] Norton F. H., Cerámica para el artista alfarero, Ed. Cía. Editorial, Continental, S. A. de C. V. México, 1990.
- [23] Ospina, E. Carlos. "Previsión del desarrollo e impactos mundiales de los nuevos materiales y estrategias para Colombia". En: Revista Investigación y Ciencia. ACAC. Septiembre de 1989.
- [24] Peterson Susan, Artesanía y Arte del barro, Barcelona BLUME, 1997.
- [25] Rice M. Prudence, Pottery Analysis a Sourcebook, Ed. The University of Chicago Press/Chicago and London, 1987.
- [26] Rhodes Daniel, Pottery Form, Ed. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, 1986.
- [27] Salmang H Fundamentos Físicos y Químicos de la Cerámica Ed .Reverté S. A., 1984.
- [28] Singer F y S. S. Singer, Cerámica Industrial, vol. I ed. URMO, S.A., 1979.
- [29] Smith J.V., Bailey S.W. Second Review of Al-O and Si-O tetrahedral distances. Acta Cryst. 16. 801 – 811., 1963.
- [30] Salinas Flores, Oscar, Historia del diseño industrial, Editorial Trillas, México, 1992.
- [31] Smart I. Moore E, Química del Estado Sólido Ed Addison Wesley Iberoamericana, 1992.
- [32] Sorrell Charles A. A GUIDE TO FIELD IDENTIFICATION ROCKS AND MINERALS. Golden Books Publishing Company. New York., 1973.
- [33] Skoog, Douglas A. ANÁLISIS INSTRUMENTAL. Cuarta edición. Mc GrawHill. México., 1994.
- [34] Tesmer J.R. Nastassi M. Eds. HANDBOOK OF MORDEN ION BEAN MATERIAL ANALYSIS MATERIALS. Research society, Pittsburgh, 1995.
- [35] Vázquez Malagón Emma, Tesis en Maestría de Diseño Industrial, UNAM, D. F., 2001.
- [36] Wendlandt. Thermal Methods of Analysis. 2da. Ed. Volumen 19. John Wiley & Sons. USA, 1974.

[37] Worrall W.E. Clay and Ceramic Raw Materials Ed Applied Science Publishirs LTD London, 1993

[38] Wu Xiacong, Ed. Wu Xiacong, Guo Youmin, Turismo China, 2001.

[39] WWW.Britanica.com

GLOSARIO

Álcali. Base fuerte, particularmente hidróxido de sodio y potasio (NaOH KOH) los álcalis cambian con sustancias ácidas como la sílice.

Absorbancia. La capacidad de absorción de agua de un material (arcilla, yeso, etc.).

Agente reductor. Material del cuerpo o del barniz, tal como el carburo de silicio, que se añade para combinarlo con oxígeno y formar monóxido de carbono durante la quema.

Aglutinantes. Diversos materiales, gomas, alcohol polivinílico, metilcelulosa, etc., empleados para aumentar la adherencia de los barnices o para impartir resistencia a una pasta vaciada o prensada.

Amasado. Preparación de las arcillas con los dedos y las palmas de las manos, para darles una consistencia uniforme en el estado plástico.

Añejamiento. La exposición de una arcilla cruda a la acción de la lluvia, el sol, el frío, etc., que provoca una mayor desintegración de las partículas y aumenta la plasticidad de la arcilla.

Atmósfera de reducción. Quema con insuficiencia de oxígeno; el monóxido de carbono que se forma se une al oxígeno del cuerpo y del barniz para formar dióxido de carbono, lo que produce cambios de color en ambos materiales.

Barbotina. Arcilla o pasta arcillosa en suspensión líquida.

Barniz. Suspensión líquida de minerales finamente molidos, que se aplica por bañado, brocha o aspersión, sobre la superficie de piezas cerámicas bizcochadas. Después de barnizadas, las piezas se hornean a la temperatura de fusión de la mezcla de los ingredientes del barniz, para formar un recubrimiento vítreo.

Bizcochado. Horneo preliminar para endurecer las piezas, por lo general a cono 010, previo al barnizado.

Bizcocho. Pieza cerámica horneada sin barnizar.

Ceramografía. Etim.(Del griego Kéramos, vasija de barro) Tratado histórico y técnico del arte cerámico.

Chamota. Arcilla precocida o material de desecho.

Choque térmico: La mayoría de los materiales pueden soportar cambios repentinos de temperatura solamente hasta un cierto límite, produciéndose su fallo cuando el gradiente de temperatura que se ha establecido excede de un valor dado.

Clivaje: (Exfoliación) Es la tendencia de un mineral a romperse a lo largo de una superficie plana, el término es usado para describir el arreglo geométrico producido por su rompimiento, si los enlaces son fuertes el clivaje será malo, si el enlace es débil el clivaje será bueno.

Conos pirométricos. Pequeñas piezas piramidales (de 2.8 a 4 cm de altura) hechas de materiales cerámicos mezclados en proporciones tales que el cono se dobla y funde a temperaturas específicas, lo que permite al operario determinar el momento en que el quemado ha llegado al punto deseado.

Cocción. La operación consiste en meter al horno piezas de alfarería modelada y someterlos al fuego para endurecerse.

Coloide. Químicamente cuerpo que no cristaliza o que cristaliza con dificultad y que estando en disolución se difunde con extraordinaria lentitud dan disoluciones coloidales, esto es aquellas en que la materia disuelta presenta propiedades de coloide especialmente el ácido silícico, la alúmina, el hidróxido ferrico y muchos otros óxidos metálicos, la dextrina la goma, el caramelo, el tanino, la albúmina, la gelatina.

Desfloculante. Carbonato o silicato de sodio, compuestos que se usan en las barbotinas de vaciado, para reducir la cantidad de agua necesaria para mantener una buena suspensión.

Engobe. Preparación líquida de características intermedias entre una arcilla y un barniz; contiene arcilla, feldespato, pedernal, un fundente y colorantes. Algunas arcillas funcionan como engobes por sí solas. Se puede usar sobre piezas crudas o bizcochadas.

Esgrafito. Decoración que se lleva a cabo raspando a través de un engobe coloreado, para mostrar el color contrastante del cuerpo que está debajo.

Esmalte. Aunque en muchos casos se usa el término esmalte como sinónimo de barniz, un esmalte es un barniz de alto brillo formulado con fundentes de plomo, que generalmente se usa como decoración sobre barniz.

Esméctita. (Tierra de Batán) es una arcilla que con agua forma un barro no modelable, absorben con avidez la grasa.

Fase vítrea: Parecido al cristal, duro y denso.

Faenza. Cerámica porosa cubierta con un barniz de plomo-estaño; término que describe la cerámica porosa que se deriva del nombre de un centro cerámico cercano a Faenza, Italia que, durante el Renacimiento, producía estas piezas como imitación de la mayólica española.

Frita. Barniz parcial o completo que se funde en forma de vidrio y se muele, con el propósito de eliminar los efectos tóxicos del plomo o la solubilidad del bórax, carbonato de sodio.

Fundente. El compuesto de punto de fusión más bajo de un barniz, tal como plomo, bórax, carbonato de sodio o cal, incluyendo el sodio y el potasio del feldespatos. Los fundentes se combinan con facilidad con la sílice y, por lo tanto, ayudan a que los compuestos de sílice-alúmina, de punto de fusión altos, formen un vidrio.

Gres. Pasta de cerámica compacta preparada con arcillas impuras que imparten una coloración que va desde el café claro hasta el rojo oscuro.

Lustre. Tipo de decoración metálica que se cree fue descubierta en Egipto y se desarrolló totalmente en Persia durante los siglos XIV y XV. Es una mezcla de sales metálicas, resinas y nitrato de bismuto, que se aplica sobre una pieza barnizada para volverla a hornear a temperaturas más bajas. Sin embargo, esta temperatura debe ser suficiente para fundir el metal y dejar una capa delgada sobre las porciones decoradas.

Luminescencia. Luz obtenida sin elevación de temperatura, sea por un proceso químico, eléctrico, mecánico, o por la acción directa de la luz.

Molde. Forma hueca, generalmente de yeso, que contiene el contorno negativo de una pieza. La forma positiva se obtiene vaciando una suspensión de yeso o una barbotina de arcilla.

Pella. (Etimológicamente del latín pila, pelota) masa que se une y aprieta, regularmente en forma redonda.

Plasticidad. La característica de una arcilla que permite manipularla y retener su forma sin rajarse o deformarse.

Prensado. Formado de objetos de arcilla por compresión de una masa blanda entre dos moldes de yeso o de metal, como en la fabricación de asas para tazas y otras piezas.

Rollos. Método de modelado de piezas cerámicas, que consiste en formar cilindros de pasta plástica con los cuales se van formando las paredes que se alisan con los dedos.

Sancocho. Sinónimo de bizcocho.

Sinterización: Proceso térmico en el que los productos cerámicos se funden lo suficiente para formar una masa sólida sin vitrificación completa.

Translucidez: La característica de una porcelana o pasta delgada que transmite una luz difusa.

Tensión superficial. (Latín tenso) estado de un cuerpo estirado por la acción de fuerza que lo solicitan. Fuerza que impide separarse una de otra a las partes de un mismo cuerpo cuando se halla en dicho estado.

Terracota. Pasta de cerámica porosa, por lo general de color rojo, que contiene chamota. Es la pasta más común para esculturas cerámicas.

Terra sigilata. El barniz de engobe rojo de los romanos similar al búcero etrusco y al barniz negro griego. Se preparaba con partículas finas de arcilla roja decantada, quemando en atmósfera de oxidación para obtener un cuerpo rojo.

Vaciado de barbotinas. Proceso de reproducción de objetos que se lleva a cabo vertiendo una pasta líquida de arcilla en un molde hueco de yeso y permitiendo suficiente tiempo para que se forme una capa de pasta sobre la pared del molde. Después de endurecerse, el objeto se desprende del molde para bizcocharlo.

Zeolita: Mineral, importante grupo de silicatos hidratados, casi siempre aluminosos, que se hinchan y hierven cuando se les calienta.