

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



“FORMULACIÓN DE PASTA DEL TIPO PORCELANA QUÍMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE LABORATORIO, Y OTROS USOS EN LA INDUSTRIA”.

Tesis de grado previa a
la obtención del título
de Ingeniero Químico

AUTORES:

Jorge Daniel Inga Lafebre
Diana Lizeth Saetama Flores

DIRECTORA:

Ing. Diana Elizabeth Guaya Caraguay

LOJA – ECUADOR

2009

CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO

Jorge Daniel Inga Lafebre y Diana Lizeth Saetama Flores, autores de la tesis “FORMULACIÓN DE PASTA DEL TIPO PORCELANA QUÍMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE LABORATORIO, Y OTROS USOS EN LA INDUSTRIA”.

Declaramos conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

.....
Jorge Daniel Inga Lafebre

AUTOR

.....
Diana Lizeth Saetama Flores

AUTORA

CERTIFICACIÓN

Ingeniera Diana Elizabeth Guaya Caraguay

CATEDRÁTICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y DIRECTORA DE TESIS.

Certifica haber participado en la revisión de la presente tesis, la misma que reúne los requisitos que exige el reglamento de la escuela; por tal razón autoriza su presentación.

Loja, junio de 2009

.....
Ing. Diana Elizabeth Guaya Caraguay
DIRECTORA DE TESIS

AUTORÍA

Las ideas, opiniones, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de tesis son de exclusiva responsabilidad de los autores.

.....
Jorge Daniel Inga Lafebre

.....
Diana Lizeth Saetama Flores

DEDICATORIA

Con mucho amor y respeto a mis Padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, quienes a pesar de las adversidades me han sabido apoyar en cada momento, siendo ellos mi mejor ejemplo de trabajo, lucha y perseverancia.

A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, por la paciencia, la compañía en mis momentos de flaqueza y alegría, por apoyarme en cada capricho que se me ha cruzado durante mi carrera universitaria, y que gracias a ellos he podido culminar mis estudios en este prestigioso Centro de Educación Superior y la realización del presente trabajo.

A mis amigos, con quienes he compartido momentos alegres, y días difíciles.

A Dios por regalarme cada día la vida, por ser siempre mi inspiración y mi guía en cada paso que doy.

Daniel

DEDICATORIA

A Dios, por las bendiciones brindadas, porque me iluminó y me dio la fortaleza para siempre salir adelante ante las dificultades presentadas.

A mi querida hija, Luisana, que es el motor de mi vida; a mis padres Amada y Rodrigo que me brindaron sus consejos y apoyo en los momentos difíciles para poder cumplir con uno de los objetivos de mi vida.

Así también a mis hermanos Gianella, Oscar y Génesis con quienes he compartido los momentos más hermosos de mi vida.

A mis amigos que de una u otra forma me brindaron su apoyo para ir escalando poco a poco en mis estudios hasta llegar a la culminación de mi carrera.

Diana

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a la Universidad Técnica Particular de Loja, por habernos dejado formar parte de este Centro Universitario; del cual hemos aprovechado todos los recursos que el profesional necesita durante la formación de su vida universitaria.

A la planta de Cerámica CERART y a su gerente Eco. Diego Lara, por permitirnos realizar el presente proyecto en estas instalaciones. Además por la colaboración y servicios prestados, como también su apoyo económico brindado.

Al Dr. Omar Malagón, director de nuestra Escuela de Ingeniería Química, por la paciencia en la orientación de nuestra investigación.

Así también a los docentes de la Escuela, como el Ing. Víctor Sanmartín por despejar algunas de nuestras dudas; dándonos las pautas y facilitándonos el uso del Laboratorio de Beneficio de Minerales, en el que realizamos algunas etapas de nuestro proyecto de fin de carrera.

Igualmente, nuestro profundo agradecimiento a la Ing. Catalina Peñaherrera, directora del Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos (CESEMIN) de la Universidad de Cuenca, por abrirnos las puertas de sus instalaciones y ayudarnos en la culminación de nuestra tesis.

Al M.Sc. Ing. Gabriel Jumbo, quien fue el iniciador que nos encaminó en la elaboración de este trabajo, por su apoyo y conocimientos compartidos.

A la Ing. Diana Guaya, directora de nuestra tesis, con quien hemos llegado a la culminación de nuestra investigación; por sus conocimientos, su experiencia compartida, por su apoyo y amistad brindada.

Finalmente, a todo el personal que labora en CERART por su colaboración y compañerismo durante nuestra investigación. Además a todas las personas que de una u otra manera intervinieron en el desarrollo de nuestro proyecto.

CONTENIDO

	Página
Cesión de derechos de Tesis	I
Certificación	II
Autoría	III
Dedicatoria	IV-V
Agradecimientos	VI
Contenido	VII-XII
Resumen	XIII-XIV

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Introducción	1
1.2 Justificación e Importancia	2

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Cerámica Blanca	3
2.2 Pasta de Porcelana	3
2.2.1 Porcelana vítrea	4
2.2.2 Porcelana blanda	4
2.2.3 Porcelana de huesos	4
2.2.4 Porcelana dura	5
2.2.5 Porcelana eléctrica	5
2.2.6 Porcelana química	5
2.3 Desarrollo de una Pasta	6
2.3.1 Constituyentes de una pasta de porcelana química	7
2.3.1.1 Materias primas plásticas	7
2.3.1.1.1 Caolín	8
2.3.1.2 Materias primas no plásticas	9
2.3.1.2.1 Feldespato	9
2.3.1.2.2 Cuarzo	10

2.3.1.3	Materias primas plásticas no arcillosas	11
2.3.1.3.1	Talco	11
2.3.1.4	Materias primas auxiliares	12
2.3.1.4.1	Floculantes	13
2.3.1.4.2	Desfloculantes	13
2.3.1.4.2.1	Silicato de sodio líquido	13
2.3.1.4.2.2	Metasilicado de sodio	14
2.3.1.4.3	Aglomerantes orgánicos	14
2.3.1.4.3.1	Carboximetilcelulosa	14
2.3.1.5	Otros	15
2.3.1.5.1	Óxido de Zinc	15
2.3.1.5.2	Óxido de Estaño	15
2.4	Propiedades de la Porcelana Química	16
2.4.1	Color	16
2.4.2	Translucidez	16
2.4.3	Resistencia Mecánica	17
2.4.4	Expansividad de los cuerpos	17
2.5	Esmalte	18
2.5.1	Descripción	18
2.5.2	Composición del esmalte	18
2.5.2.1	Materiales plásticos	18
2.5.2.2	Antiplásticos	19
2.5.2.3	Fundentes	19
2.5.2.4	Agentes reguladores	19
2.5.3	Características del esmalte	19
2.6	El proceso cerámico	20
2.6.1	Caracterización de materias primas	20
2.6.2	Tratamiento de materias primas	20
2.6.3	Dosificación	21
2.6.4	Molienda	21
2.6.5	Tamizado	21
2.6.6	Maduración o envejecimiento	21
2.6.7	Conformado	21
2.6.8	Secado	22
2.6.9	Cocción	22
2.6.9.1	Reacciones que ocurren al cocer las pasta cerámicas	22

2.6.9.2 Tipos de hornos	23
2.6.9.2.1 Hornos estacionarios	23
2.6.9.2.2 Hornos de túnel	24
2.6.10 Esmaltado	24
2.6.11 Diagrama de flujo general del proceso cerámico	25

CAPÍTULO III

EXPOSICIÓN DE OBJETIVOS

3.1 Fin	26
3.2 Propósito	26
3.3 Componentes	26

CAPÍTULO IV

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

4 Planteamiento de hipótesis	27
------------------------------	----

CAPÍTULO V

MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Metodología de la Investigación	28
5.1.1 Diagrama de proceso para la fabricación de pasta	28
5.1.2 Diagrama de proceso para la fabricación de esmalte	29
5.1.3 Diagrama de proceso de elaboración de piezas de porcelana química	30
5.2 Desarrollo de pruebas	31
5.2.1 Descripción del proceso para la fabricación de pasta	31
5.2.1.1 Caracterización de materias primas	31
5.2.1.1.1 Determinación de color en crudo y pureza de materias primas	31
5.2.1.1.2 Determinación de color a la quema de materias primas	32

5.2.1.1.3	Determinación de densidad de materia prima	32
5.2.1.1.4	Determinación de la distribución granulométrica de materia prima	32
5.2.1.1.5	Determinación de la contracción al secado, a la quema y total de materia prima	33
5.2.1.1.6	Determinación del porcentaje de absorción de agua de la materia prima	34
5.2.1.1.7	Análisis químico de materia prima	35
5.2.1.1.8	Determinación de plasticidad de las materias primas	35
5.2.1.1.9	Resistencia mecánica de las materias primas	36
5.2.1.2	Adecuación de las materias primas	36
5.2.1.3	Molienda de materias primas	36
5.2.1.4	Purificación de materias primas	37
5.2.1.5	Dosificación y molienda de barbotina	38
5.2.1.6	Almacenamiento y maduración de la barbotina	39
5.2.2	Descripción del proceso para la elaboración de piezas de porcelana	39
5.2.2.1	Acondicionamiento de barbotina de colado	39
5.2.2.2	Colado de piezas	39
5.2.2.3	Secado de piezas	40
5.2.2.4	Recorte y pulido de piezas	40
5.2.2.5	Quema de bizcocho	41
5.2.2.6	Esmaltación	41
5.2.2.7	Cocción de piezas esmaltadas	42
5.2.3	Descripción del proceso para la fabricación de Esmalte	43
5.2.3.1	Adecuación de materias primas	43
5.2.3.2	Dosificación	43
5.2.3.3	Molienda	43
5.2.3.4	Almacenamiento	44

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1	Pruebas para formulación de pasta de porcelana química	45
-----	--	----

6.1.1 Obtención y caracterización de materias primas	45
6.1.2 Pruebas preliminares	45
6.1.2.1 Primera prueba para obtención de pasta	46
6.1.2.2 Segunda prueba para obtención de pasta	47
6.1.2.3 Tercera prueba para obtención de pasta	48
6.1.2.4 Cuarta prueba para obtención de pasta	49
6.1.2.5 Quinta prueba para obtención de pasta	50
6.1.2.6 Sexta prueba para obtención de pasta	51
6.1.2.7 Séptima prueba para obtención de pasta	52
6.1.2.8 Octava prueba para obtención de pasta	53
6.1.2.9 Novena prueba para obtención de pasta	53
6.1.2.10 Décima prueba para obtención de pasta	54
6.1.3 Resultados de Caracterización de las formulaciones preliminares	55
6.1.4 Selección de la formulación	56
6.1.4.1 Ciclo de quema de bizcocho a 1110°C	57
6.1.5 Optimización de Pasta de porcelana química	58
6.1.5.1 Prueba de desfloculación	58
6.1.5.2 Temperatura alcanzada para la pasta de porcelana química elaborada	60
6.1.5.3 Caracterización de bizcocho a 1300°C	62
6.1.5.4 Prueba de plasticidad	62
6.2 Pruebas para formulación de esmalte	63
6.2.1 Pruebas Preliminares	63
6.2.1.1 Primera prueba	63
6.2.1.2 Segunda prueba	64
6.2.1.3 Tercera prueba	64
6.2.1.4 Cuarta prueba	65
6.2.2 Ciclos de quema para las pruebas de esmalte	65
6.2.3 Resultados de las pruebas de esmalte	66
6.2.3.1 Pruebas de calce entre pasta y esmalte aprobado	67
6.2.3.1.1 Caracterización de pasta quemada a 1200°C	68
6.2.3.1.2 Coeficiente de dilatación de la pasta con quema de 1110- 1200°C	68
6.2.3.1.3 Coeficiente de dilatación del esmalte a 1200°C	68

RESUMEN

La formulación de pasta de porcelana química cumplió con varias etapas: caracterización, adecuación, molienda y purificación de materias primas; dosificación y molienda, almacenamiento y maduración de barbotina. Se enfatizó en una de las etapas primordiales como es la *purificación*, la misma que consistió en someter las materias primas a una separación magnética mediante el uso de imanes a fin de atraer cualquier impureza de hierro.

Siguiendo un proceso adecuado en cuanto a dosificación se desarrollaron 10 formulaciones preliminares, las mismas que fueron inicialmente evaluadas tomando en cuenta propiedades como tiempo de colado, facilidad durante el colado y factibilidad durante el formado de la pieza, dureza de la piezas en crudo y luego de su quema. Posteriormente fueron caracterizadas y analizadas bajo tres parámetros medidos, entre estos: Porcentaje de Absorción de agua, Porcentaje de Contracción Total y Resistencia Mecánica (realizada en Unidad Civil y Geominera de la U.T.P.L.).

De esta manera se logró obtener la composición adecuada para la elaboración de pasta de porcelana química, la misma que se encuentra constituida por 66.67 % de caolín (Belén), 8.33% de feldespato (Marcabelí), 8.33% de cuarzo (sílice), 4.17% de talco y 12.15% de óxido de zinc.

Se consiguió la optimización de esta pasta, llegando a establecer que su temperatura máxima de quema es de 1300°C, alcanzando los siguientes parámetros de acuerdo a su caracterización: absorción (0.23%); espacio poroso (0.75%); densidad real (3.34g/cm³); contracción total (17.40%); resistencia mecánica (1135.92%).

Adicionalmente, se comparó mediante pruebas t de Student el porcentaje de absorción, contracción total, y resistencia mecánica de la pasta formulada con una porcelana de referencia como la *Porcelana de huesos*, pues esto permitió incluir a nuestra pasta dentro de la clasificación de las porcelanas.

Por tal motivo, se desarrolló un Protocolo de Control de Calidad, el mismo que contiene la información necesaria, detallando el procedimiento de trabajo para cada una de las etapas que intervienen en la elaboración de esta pasta.

Adicionalmente se dejan estandarizados los parámetros mediante Especificaciones Técnicas que deben cumplir las etapas que implican la elaboración de esta pasta, entre éstas podemos mencionar: tiempo de colado, retenido real, humedad, y densidad.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.- ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

El Desarrollo de nuevos proyectos de investigación ha sido uno de los ejes principales de la planta de cerámica CERART de la Universidad Técnica Particular de Loja con el fin de contribuir al desarrollo de la misma mediante la elaboración de nuevos productos.

El presente trabajo **“Formulación de pasta del tipo porcelana química para la producción de materiales de laboratorio y otros usos en la industria química”** ha sido desarrollado debido a que no existe en el país industrias cerámicas dedicadas a la fabricación de este tipo de porcelana; motivando así a la investigación de este tema, de manera que, se pueda contribuir al crecimiento industrial de CERART con la fabricación de una nueva pasta.

Así mismo, utilizando los recursos con que cuenta la planta de cerámica CERART, se adecuó las materias primas mediante los métodos y equipos utilizados en la planta; con el fin de conseguir una pasta con las propiedades adecuadas para la elaboración de piezas utilizadas en análisis de la industria química. Además las propiedades obtenidas de esta pasta fueron comparadas con una pasta de porcelana de referencia (Porcelana de huesos) ya que dentro de la clasificación de las porcelanas, la porcelana de huesos presenta características similares a la porcelana química.

A pedido del Líder de Laboratorio que anteriormente laboraba en la Planta de CERART se elaboró un esmalte que servirá de base para futuras investigaciones en la optimización de este producto.

Cabe mencionar que el presente trabajo está estructurado en dos partes: la primera se refiere a la Memoria Escrita del Proyecto de Fin de Carrera y la segunda a un Protocolo de Control de Calidad para la Producción de Porcelana Química; aporte que será aprovechado por el personal de la planta como un instructivo de trabajo en la elaboración de este tipo de pasta; sin embargo esta información queda expuesta a modificaciones tanto de forma como de fondo conforme la planta se acondicione al trabajo.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En Ecuador la investigación acerca de la elaboración de pasta del tipo porcelana química es nula, dando por hecho que al no desarrollar esta clase de cerámica química se limita a adquirir productos elaborados en el exterior; por tanto, al hacer este tipo de pasta se aportará a que muchos de los laboratorios existentes destinados a análisis químicos encuentren con facilidad o accesibilidad los materiales de porcelana química.

Tomando en cuenta la disponibilidad de recursos tanto humano como material en la planta de cerámica "CERART" de la Universidad Técnica Particular de Loja, se ha visto factible y conveniente elaborar la porcelana química, la misma que, presenta particularidades que la diferencia de otro tipo de cerámica haciendo de ésta irremplazable para cierto tipo de usos en la industria; como por ejemplo, el uso de crisoles para pruebas de calcinación.

Con esta investigación se espera que CERART implemente una nueva línea de producción ya que por la factibilidad que presenta el proyecto se estaría aportando al crecimiento económico de la planta, meta que año tras año esta entidad se ha venido trazando.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CERÁMICA BLANCA

La industria de la cerámica blanca que comprende la porcelana, la loza, el gres fino y la alfarería blanca, tiene las siguientes características:

1. Las materias primas adquieren color blanco después de cocidas.
2. Dichas materias primas debidamente mezcladas son plásticas cuando se humedecen con agua y se les puede dar forma con presión leve para hacer diferentes artículos.
3. Las piezas así formadas conservan su forma después de secas y aumentan su resistencia cuando se cuecen a temperaturas elevadas.

Los tipos de cerámica blanca se dividen en dos clases: artículos *triaxiales* y *no triaxiales*. El término **triaxial** significa que la pieza está compuesta de tres ingredientes: sílice, arcilla y feldespato, a veces con fundentes secundarios como la cal y la magnesia, pero sólo en pequeña cantidad. Los artículos **no triaxiales** contienen otros componentes tales como: talco, ceniza de huesos, pirofilita y alúmina.

Los productos de cerámica suelen constar de un cuerpo relativamente refractario y una capa vidriada menos refractaria; con respecto a la porosidad, se clasifican los cuerpos de cerámica blanca en dos grupos: 1) **cuerpos vítreos**, cuya absorción de agua es de menos de 0.2%. 2) **cuerpos semivítreos**, cuya absorción de agua es mas de 0.2%.¹

2.2. PASTA DE PORCELANA

La porcelana es un producto cerámico tradicionalmente blanco, compacto, duro y translúcido, desarrollado por los chinos en el siglo VII u VIII e históricamente muy apreciado en occidente, pasando un largo tiempo antes de que su modo de elaboración fuera reinventado en Europa.

La porcelana se obtiene a partir de una pasta muy elaborada compuesta por caolín, feldespato y cuarzo. El proceso de cocción se realiza en dos etapas: 1) la obtención del bizcocho (1100°C) y 2) el vidriado (a temperaturas que varían según el producto

¹ KIRK R., OTHMER D. (1962). Enciclopedia de la Tecnología Química; Unión Tipográfica Hispanoamérica: México; Tomo 4, Pág. 201.

entre 1175 y 1450°C). La porcelana se suele decorar en una tercera cocción (tercer fuego) con pigmentos que se obtienen a partir de óxidos metálicos calcinados.²

La clasificación de la porcelana es muy amplia, entre estas podemos mencionar³:

2.2.1. Porcelana vítrea

Es un material resistente y relativamente impermeable que puede convertirse fácilmente en material sanitario y loza, posee una pasta blanca, opaca, vitrificada, con una absorción de agua comprendida entre 0 y 1,0%.

Las pastas de porcelana vítrea se basan en mezclas de caolines, arcillas grasas, cuarzo o pedernal y feldespato, con bastante frecuencia se emplea carbonato cálcico y ocasionalmente talco; las temperaturas de cocción varían desde el cono 5 al 12, siendo las más usuales del 8 al 10.

2.2.2. Porcelana Blanda

Este término abarca cierto número de pastas diferentes todas las cuales son vítreas, blancas y traslúcidas. Se vitrifican por debajo del cono 12 y la mayoría lo hacen en la cocción a bizcocho y subsiguientemente se esmaltan a una temperatura menor, se subdividen de acuerdo con las materias primas y se incluye un cierto número de tipos de composición diferentes, las temperaturas de cocción están comprendidas entre las temperaturas el cono 7 al 11.

2.2.3. Porcelana de huesos

Se caracteriza por su translucidez, ofrece oportunidad por una gama de colores bajo el vidriado, mucho más variada que la porcelana dura, y los colores aplicados sobre el vidriado se funden también durante su vitrificación. Posee la máxima resistencia al impacto y al desconchado de todos los materiales finos europeos para vajillas.

Los componentes tradicionales de la pasta son ceniza de huesos, caolín y piedra de Cornwall, la temperatura de cocción del bizcocho es relativamente baja, entre 1200 a 1250°C, aunque mayor que la del barnizado, tras su cocción da un color blancuzco.

² WIKIPEDIA, La enciclopedia libre [online]. Disponible en Internet. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Porcelana>. Acceso: 30 de enero de 2009.

³ SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 9, Pág. 517-558.

2.2.4. Porcelana dura

Es una pasta blanca pura, completamente vitrificada, translúcida, resistente y dura; es la más solicitada de las pastas triaxiales (caolín, feldespato potásico y cuarzo) y requiere materias primas muy puras, fabricación experimentada y cocción entre conos 9 y 16.

Una vez que se descubrieron sus cualidades técnicas de resistencia, refractariedad relativa, aislamiento eléctrico, etc., se modificaron a fin de conseguir pastas especializadas para material de hornos, aparatos químicos y de laboratorio, y aislamiento eléctrico; para dichas pastas no presenta importancia la translucidez ni es esencial la blancura.

2.2.5. Porcelana Eléctrica

Se caracteriza por su blancura, translucidez, refractariedad y se reducen ligeramente a fin de poder emplear fundentes que proporcionen mejores propiedades eléctricas. Las exigencias para la porcelana a emplear en aislamiento eléctrico, tanto de baja como de alta tensión difieren de las correspondientes al material para vajillas. Son esenciales pastas absolutamente vítreas para todas aquellas piezas susceptibles de absorber humedad de la atmósfera. Los aisladores de baja tensión pueden tener una absorción de agua hasta del 0.5%, debiendo ser nula ésta para los de alta tensión, además es importante su resistencia mecánica.

2.2.6. Porcelana Química

El mayor interés en las propiedades requeridas para la porcelana a utilizar en laboratorios o industrias químicas se dirige hacia la resistencia mecánica y resistencia al choque térmico, si bien presenta también importancia la blancura. Se hace por consiguiente preciso eliminar totalmente el cuarzo libre en la pasta cocida. Si éste tiene un contenido de sílice elevado puede introducirse en forma de vidrio de sílice con su muy bajo coeficiente de expansión.

Es necesario una cocción a temperatura elevada combinando un prolongando periodo de recalentamiento para lograr la disolución máxima del cuarzo y su conversión en mullita. Las porcelanas cocidas al cono 13 y 14 presentan un coeficiente de expansión notablemente menor que las cocidas al cono 9.

La porcelana se ve afectada más severamente por las variaciones en cualquier etapa de su fabricación que las pastas menos vitrificadas. Los factores a considerar son:

- a) Composición de las materias primas (impurezas de hierro);

- b) Contenido de humedad;
- c) Tamaño de partícula, es decir, que debe controlarse cuidadosamente todo el proceso de molienda;
- d) Contenido en agua de la pasta preparada.

La composición y la naturaleza general de las diversas materias primas varían, y con ellas las propiedades de la porcelana obtenida, en especial las impurezas pueden tener influencias muy importantes e indeseables.

Las impurezas de hierro son unas de las principales causas de la alteración del color del material. Deben seleccionarse materias primas de bajo contenido en hierro. El tamizado y la acción de un campo magnético durante la preparación de la pasta contribuye a eliminar las partículas de mayor tamaño, y el hierro que eventualmente pueda quedar debe molerse muy finamente y distribuirse homogéneamente en toda la pasta, con lo cual la reducción durante la cocción convertirá el hierro en la forma ferrosa prácticamente incolora.

2.3. DESARROLLO DE UNA PASTA⁴

El término “pasta” abarca tanto la mezcla de materias primas preparada para la fabricación de cualquier producto, como también la parte principal de dicho producto, en oposición al vidriado. La nomenclatura de las pastas cerámicas es muy confusa, en general las pastas tradicionales tienen nombres distintos que han venido a significar características particulares de color, textura y moldeabilidad. Estas pastas están basadas principalmente en arcilla, o en el diagrama triaxial de arcilla-feldespatopedral. Las pastas modernas basadas en un mejor conocimiento de la composición, estructura y reacciones de los materiales, se describen bien por el uso especializado al que pueden destinarse, o por la materia prima fundamental, o bien por el principal compuesto formado como resultado de la mezcla.

La naturaleza de la pasta cerámica cocida es afectada por cada una de las etapas de su fabricación, a saber:

- a) Composición de la carga, naturaleza y proporciones de sus materias primas.
- b) Composición total.
- c) Estado físico de las materias primas, en particular su granulometría.

⁴ SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 9, Pág. 517-558.

- d) Método de preparación de la pasta cruda.
- e) Método de moldeo.
- f) Cocción
- g) Tratamiento de la superficie por vidriado, esmerilado o pulimento.

2.3.1. Constituyente de una pasta de porcelana química

Las materias primas de uso cerámico se dividen en materias primas plásticas, plásticas no arcillosas, no plásticas, auxiliares y otras.

2.3.1.1. Materias primas plásticas⁵

Dentro de este grupo tenemos las arcillas y caolines, estos materiales se forman por el envejecimiento de las rocas ígneas primarias como son los granitos, feldespatos, pegmatitas, etc.; por lo tanto son rocas secundarias. Este envejecimiento de las rocas es debido a la acción mecánica del agua, movimientos terrestres, viento, cambio de temperatura y a la acción química del dióxido de carbono, ácidos húmicos, gases de azufre y del agua.

Estas materias primas juegan un papel principal en la fabricación de cerámica.

2.3.1.1.1 Caolín (Belén)

Descripción:

También conocido como "arcilla de China", llamada así por sus orígenes cuyo yacimientos iniciales se sitúan en Kaoling, situados en la Provincia de Kiangsi (China). "kao-liang", significa "cima alta".

El caolín es una arcilla primaria procedente de la descomposición de rocas feldespáticas, el mayor porcentaje de su composición corresponde a la caolinita que es un silicato de alúmina hidratado, formado por una molécula de alúmina, dos de sílice y dos de agua. En comparación con las demás arcillas, resulta poco plástica, a consecuencia de que, las partículas que la forman, son de gran tamaño. En su estado

⁵ SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 9, Pág. 26-40.

natural se encuentra mezclada con feldespato y cuarzo por lo que tiene que someterse a procesos de purificación.⁶

Características y Propiedades:

Es un material mate de color blanco, amarillento o grisáceo, presenta un aspecto pulverulento con partículas grandes.

Uno de los factores que influye tanto en la plasticidad como en la resistencia mecánica de un caolín, es la granulometría y la forma de la partícula, mientras más finas son las partículas, más alto es el módulo de rotura y más plástico es el caolín.

Tras la cocción es el caolín el que proporciona a la porcelana su coloración blanca, además mantiene la rigidez y estabilidad en la pasta a alta temperatura, pues es un material muy refractario (1750-1770°C) y en la práctica raramente se utiliza el caolín por sí sólo, siempre forma parte de alguna composición para pastas cerámicas, su punto de fusión está por encima de los 1800° C. La mayoría de estos caolines crudos se tratan poniéndolos al principio en suspensión mediante operaciones adecuadas de mezclado, lavado, pulverización y dispersión.⁷

2.3.1.2. Materias primas no plásticas⁸

Las materias primas no plásticas usadas en cerámica, confieren ciertas características especiales a la pasta, como son la reducción de la plasticidad y del tiempo de secado, reducción de la contracción, aumento de la resistencia mecánica tanto en crudo como luego de la quema y en general modifican las propiedades del producto cocido posibilitando que las propiedades deseadas puedan ser obtenidas a bajas temperaturas de cocción.

Dentro de este grupo se encuentran la sílice, feldespato, sienita nefelita, ceniza volcánica y muchas otras materias primas secundarias.

2.3.1.2.1. Feldespato (Marcabelí)⁹

⁶ MONOGRAFIAS.COM S.A.; Porcelana: Breve Historia [online]. Disponible en Internet. URL: <http://www.monografias.com/trabajos/porcelana/porcelana.shtml>. Acceso: 23 de abril de 2009.

⁷ CERAMICA ARTÍSTICA Y ACUARELA: Arcillas para porcelana, tipos de porcelana: online: <http://www.xtec.net/~aromero8/ceramica/pocelana.htm>, acceso: 23 de abril de 2009.

⁸ SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 9, Pág. 118.

Descripción:

Los feldespatos constituyen el 60% de las rocas ígneas, los más comunes en la industria cerámica son:

Ortoclasa	(Feldespato potásico)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
Albita	(Feldespato sódico)	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$

Representan la parte más importante de los fundentes utilizados en las pastas y derivados cerámicos.

Características y Propiedades:

La fundencia es la propiedad más importante de un feldespato, ya que ayuda a la fusión de la arcilla a menor temperatura de la que se formaría, si no tuviera dicho material. Esta propiedad está dada porque el feldespato contiene álcalis insolubles que disminuyen el punto de fusión.

El feldespato es un fundente que forma fases cristalinas densas, disminuyendo la porosidad de las piezas cerámicas.

La fusión del feldespato ayuda a que se fundan el cuarzo y el caolín para la formación de la mullita secundaria que aporta muchas de las propiedades de las piezas cerámicas.

El feldespato potásico forma una fase vítrea de alta viscosidad, provocando un alto grado de vitrificación y no produce deformaciones de las piezas. Lo que es más difícil de obtener con el feldespato sódico, ya que tiene un punto de fusión inferior, dado un vidrio menos viscoso y con un intervalo de fusión más estrecho.

El feldespato adicionado a una pasta de arcilla aumenta la resistencia mecánica, tanto en crudo como luego de la cocción, ya que actúa como una carga y provoca una mayor unión de las partículas entre sí por un aumento de tensión superficial y por la distribución del feldespato fundido en los poros.

⁹ RADO P. (1990). Introducción a la Tecnología de la Cerámica; Ediciones Omega S.A. Barcelona-España, Pág. 33-38.

2.3.1.2.2 Cuarzo (Sílice)

Descripción¹⁰

Con este nombre se denomina a un conjunto de numerosos compuestos y minerales que pueden ser descritos por la fórmula SiO₂.

El dióxido de silicio es el principal componente de las rocas magmáticas, las cuales constituyen el 90% de la corteza terrestre.

En la naturaleza se presenta en variedades cristalinas y amorfas, entre las primeras tenemos el cuarzo, cristal de roca, cuarzo ahumado, amatista, etc., y entre las segundas, la sílice, el pedernal, el silex, la tierra de diatomeas, el ópalo, el jaspe, la ágata, etc.

Características y Propiedades

El cuarzo es un mineral de estructura compacta, duro y rígido, debido a la fuerza de sus enlaces su punto de fusión es muy elevado; es un material antiplástico y refractario esencial para la formación de vidrios, aumenta la tensión superficial y disminuye fuertemente la elasticidad, incrementa la resistencia de pastas y esmaltes a los agentes químicos.

Todas sus propiedades se ven influidas por su granulometría; siendo así los granos grandes de cuarzo aceleran una dilatación brusca, mientras que los granos muy finos dan lugar a una mayor dilatación.

Cuando el cuarzo pasa a formar parte en la composición de esmaltes en forma de vidrio reduce la dilatación térmica del esmalte; pero si se encuentra en forma cristalina aumenta la dilatación.

Además actúa como modificador de ciertos colores y aumenta la blancura de ciertos esmaltes.

La sílice ha sido considerada como un provechoso constituyente e indispensable de la pasta cerámica. La función de la sílice depende hasta cierto punto del tipo de cerámica en el que se es introducido. En variedades porosas, actúa como un relleno; en cerámica densa, tal como la porcelana, ayuda a la formación de vidrio así como también puede mejorar la resistencia mecánica. En la pasta de porcelana es el cuarzo el que evita que las piezas se contraigan o deformen. Por lo tanto, el comportamiento

¹⁰ BRUGUERA J. (1986). Manual Práctico de Cerámica; Ediciones Omega S.A.: Barcelona-España, Pág 130-133.

de la sílice y en consecuencia del cuarzo en la cocción, está caracterizado por sus transformaciones y procesos de disolución con los otros componentes de la pasta.¹¹

2.3.1.3 Materias primas plásticas no arcillosas

Hay otros materiales relativamente plásticos que se usan en la cerámica como materias primas secundarias y son los silicatos de magnesio hidratados (talco y esteatita) y el silicato de aluminio (profilita). Estos minerales son fáciles de moldear en estado húmedo y bajo presión, sobre todo si están finamente molidos. Son minerales que tienen estructuras laminares y con exfoliación en hojas, lo que los hace afines a las arcillas.

2.3.1.3.1 Talco¹²

Esta sustancia tiene creciente aplicación en la cerámica. Las tres variedades según su estructura son: la laminar, la fibrosa y la compacta. En la industria de la porcelana para alta frecuencia se emplea la variedad compacta de talco llamada esteatita, que una forma diferente de silicato de magnesio hidratado.

Cantidades adecuadas de talco o esteatita introducidas en ciertas pastas cerámicas imparten cierto número de ventajas:

Como un constituyente principal

1. Cuando el talco es componente más abundante (70 a 90 %) se obtienen pastas muy adecuadas como aisladores eléctricos y al tipo de pasta se la denomina esteatita.
2. Cuando la composición de la pasta se aproxima a la de la cordierita ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$), se obtienen pastas de baja expansión térmica y, por lo tanto, alta resistencia al choque térmico, junto con buenas propiedades eléctricas.

En menores cantidades

¹¹ RADO P. (1990). Introducción a la Tecnología de la Cerámica; Ediciones Omega S.A. Barcelona-España, Pág. 32.

¹² SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 9, Pág. 110-115.

3. La acción fundente de la magnesia rebaja la temperatura de envejecimiento, reduce la porosidad y aumenta la resistencia de los cuerpos semivítreos pero acorta el campo de cochura de los cuerpos vítreos.
4. Pastas de elevado calor específico.
5. Pastas de alta resistencia al ataque ácido.
6. Pastas de menor expansión por la humedad y, por lo tanto, menos cuarteos tardíos.

2.3.1.4. Materias primas auxiliares.

Son aquellas que no forman parte del producto final, pero son necesarias para la preparación de las pastas cerámicas. Dentro de estos tenemos: el agua, los floculantes y defloculantes, los aglomerantes, etc.

2.3.1.4.1. Floculantes¹³

Son sustancias químicas que aglutinan sólidos en suspensión. Dentro de estos podemos mencionar: *sulfato de magnesio*, utilizado en casos específicos para espesar barbotinas para colada; y *cloruro cálcico* utilizado como floculante y también como antiprecipitante para impedir la separación de sólidos durante y después de la molienda.

2.3.1.4.2. Defloculantes¹⁴

Los defloculantes evitan que se afloren las partículas finas, manteniéndolas en suspensión y modificando el comportamiento reológico de las pastas. Lo que se consigue con su uso es que las pastas adquieran un estado de viscosidad adecuada con la menor cantidad de agua. El proceso actúa cambiando las cargas eléctricas, evitando que se atraigan.

Dentro de estas podemos mencionar: silicato de sodio líquido y metasilicato de sodio.

¹³ WIKIPEDIA, La enciclopedia libre; Floculante [online]; Disponible en Internet. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Floculante>. Acceso: 15 de febrero de 2009.

¹⁴ WIKIA Lifestyle: Defloculante [online]; Disponible en Internet. URL: <http://ceramica.wikia.com/wiki/Defloculante>. Acceso: 15 de abril de 2009.

2.3.1.4.2.1. Silicato de Sodio Líquido

Los silicatos de sodio líquido son soluciones en agua manufacturadas a partir de proporciones variadas de óxido de sodio (Na_2O) y óxido de silicio (SiO_2). Dependiendo de su composición dan un amplio rango de propiedades físicas y químicas.

En La industria cerámica su función es actuar como un desfloculador y su beneficio principal es mejorar la fluidez.¹⁵

2.3.1.4.2.2. Metasilicato de sodio

El metasilicato de sodio tiene una forma cristalina definida y una relación molecular $\text{SiO}/\text{Na}_2\text{O}$ de 1:1; Es fácilmente soluble en agua fría y caliente, forma soluciones que no son viscosas o pegajosas.

En la industria cerámica el metasilicato de sodio se lo utiliza como desfloculante en la elaboración de suspensiones estables de arcillas ya que posee una buena solubilidad, resistencia a altas temperaturas, propiedades adhesivas para mezclas refractarias, y es de bajo costo¹⁶.

2.3.1.4.3. Aglomerantes Orgánicos¹⁷

El principal propósito de los aglomerantes orgánicos es el influenciar las propiedades reológicas de las arcillas, así como de sus mezclas con otros minerales como por ejemplo mejorar la plasticidad e incrementar la resistencia mecánica de los objetos antes de la cocción. Incluyen tanto productos naturales como sintéticos tales como goma arábiga, como de tragacanto, harina de cereales, almidón, emulsiones de cera, alginatos, acrilatos, celulosas, carboxi-metil-celulosas, alcoholes polivinílicos, etc. Los aglutinantes sintéticos son generalmente preferidos dado que pueden ser mas estrechamente controlados.

¹⁵ SILICATOS Y DERIVADOS S.A.: Silicatos de sodio y líquidos/sólidos [online]; Disponible en Internet. URL: http://www.quiminet.com.mx/ar9/ar_%25C0%25B4%25EA%253A%255B%2527%25A3%25F4.htm. Acceso: 15 de abril de 2009.

¹⁶ QUIMINET: Silicato de Sodio [online]; Disponible en Internet. URL: <http://www.quiminet.com/pr0/Metasilicato.htm#m-noticia>. Acceso: 15 de abril de 2009.

¹⁷ RADO P. (1990). Introducción a la Tecnología de la Cerámica; Ediciones Omega S.A. Barcelona-España, Pág. 42-43.

Durante el periodo de cocción estos aglomerantes se queman a unos 400-500°C por tal motivo las pasta o vidriados que contienen este tipo material no se ven afectadas.

2.3.1.4.3.1. Carboximetilcelulosa (CMC)

La carboximetilcelulosa procede directamente de cepas naturales de vegetales fibrosos. Su nombre químico es *sal de sodio del éter carboximetílico de celulosa*, su fórmula química es $C_6H_7O_2(OR_1)(OR_2)(OR_3)$, se presenta en foma de polvo granulado o fibroso, blanco o ligeramente amarillento o grisáceo, ligeramente higroscópico, sin olor e insípido.¹⁸

Es soluble en agua y gracias a sus múltiples características como carácter hidrofílico, buenas propiedades para formar películas, alta viscosidad, comportamiento adhesivo, hacen que tenga una amplia variedad de aplicaciones; en la industria cerámica la mayoría de los éteres solubles en agua se utilizan para unir piezas de porcelana pues tienen buenas propiedades de horneado ya que las soluciones de CMC originan muy pocas cenizas. No es tóxico, sin embargo su manejo se debe realizar con las medidas mínimas de seguridad.¹⁹

2.3.1.5. Otros

2.3.1.5.1. Óxido de Zinc²⁰

El óxido de zinc es un compuesto químico de color blanco, se le conoce como zinc blanco, es poco soluble en agua pero muy soluble en ácidos. Se le encuentra en estado natural en la cincita.

Su función en cerámica es la de fundente, en bajos porcentajes mejora la opacidad y la blancura; en cantidades mayores genera cuerpos más refractarios, además puede producir efectos de matidez y sequedad.

Dentro de los óxidos básicos, tiene un bajo coeficiente de expansión.

¹⁸ Carboximetilcelulosa sódica [online]. Disponible en Internet. URL: <http://www.aditivosalimentarios.com/index.php/codigo/466/carboximetilcelulosa-sOдика>. Accesos: 15 de abril de 2009.

¹⁹ QUIMINET: Carboximetilcelulosa Alta Viscosidad [online]. Disponible en Internet. URL: <http://www.quiminet.com.mx/pr2/Carboximetilcelulosa%2Balta%2Bviscosidad.htm#m-noticia>. Acceso: 15 de abril de 2009.

²⁰ RODES D. (1990). Cerámica: Arcilla y Vidriado para el Ceramista, primera edición; Ediciones CEAC: Barcelona-España, Pág 94.

2.3.1.5.2. Óxido de Estaño²¹

En la industria de la cerámica es utilizado como fuente de calor para colorear pastas cerámicas (loza, gres, porcelana, etc.). Es altamente refractario.

Constituye uno de los opacificante más efectivo usado en cerámica, antiguamente era de uso común pero hoy en día su elevado precio ha rescindido considerablemente su uso, siendo sustituido por otros opacificantes.

2.4. PROPIEDADES DE LA PORCELANA QUÍMICA²²

Los artículos de porcelana química tienen ciertas propiedades que los diferencian de las piezas cerámicas ordinarias, la más importante de las cuales es la resistencia contra la corrosión, los primeros resisten el ataque de todos los ácidos con excepción de fluorhídrico, pero, al igual que otros silicatos, no resisten las fuertes soluciones cáusticas calientes. La mayor resistencia contra el choque térmico, que es el punto débil de la mayoría de los materiales cerámicos es también una característica de los artículos de porcelana química, como lo son también la densidad y la poca porosidad. El vidriado de las piezas ordinarias de cerámica desempeña la función de ocluir los poros contra la absorción; pero en las piezas de porcelana su única función es el formar una superficie lisa que se limpie con facilidad.

2.4.1. Color

Las principales impurezas que dan colores extraños a las piezas de cerámica son los compuestos de hierro y titanio; los caolines, cuarzos y feldespatos primarios suelen estar casi libres de dichos minerales. Las arcillas son el principal origen de los minerales indeseables y es necesario mantener este componente en proporción mínima para cumplir con los requisitos de color. El tamaño de partícula de los componentes a menudo determina la cantidad de motas en el cuerpo. Cuánto mas fino es el tamaño de partícula tanto mayor es el número de motas.

2.4.2. Translucidez

²¹ J.L VICENTIZ, S.L.; Suministros Cerámicos [online]. Disponible en Internet. URL: http://www.vicentiz.com/Acrobat/info_parcial/esmaltes/esmaltes.pdf. Acceso: 18 de marzo de 2009; Pág. 94-95.

²² KIRK R., OTHMER D. (1962). Enciclopedia de la Tecnología Química; Unión Tipográfica Hispanoamérica: México; Tomo 4, Pág. 201.

Lo más importante en relación con la translucidez es la vitrificación y la pureza de los materiales. Los cuerpos comerciales deben ser vítreos para que sean translúcidos. Si se pone feldespato potásico en el cuerpo se obtiene más translucidez que con feldespato sódico. Éste desarrolla mayores cristales de mullita que el primero, cocidos ambos hasta el mismo cono. Según parece, la translucidez depende mucho de la cantidad de fase de vidrio que resulte de la disolución de la arcilla en el feldespato.

2.4.3. Resistencia mecánica

La resistencia estática de los cuerpos cerámicos aumenta rápidamente al aproximarse el punto de vitrificación. En los cuerpos triaxiales se obtiene la máxima resistencia mecánica en las áreas altas de cuarzo cuando se produce la vitrificación, la resistencia de un cuerpo aumenta rápidamente al aproximarse la vitrificación en virtud de que se forma un agente de vítreo de cementación. Cuando los vacíos entre los granos refractarios se llenan totalmente de vidrio, el posterior desarrollo de vidrio mediante el calentamiento origina la disolución del componente refractario y disminuye la resistencia.

El tipo de fractura obtenido en cuerpos que contienen gran proporción de cuarzo se diferencian de los cuerpos que contienen gran proporción de arcilla, presentando dos tipos de fractura: la *fractura granular* que es la consecuencia de la ruptura a lo largo de la superficie de los granos, y la *fractura concoidea* que resulta de la ruptura a través de los cristales. Un cuerpo compuesto de cuarzo de granos gruesos presenta también estructura granosa en la fractura. La fractura de una pieza que se rompe espontáneamente es siempre concoidea y tiene gran lustre sea cual fuere la composición o el estado de vitrificación. La máxima resistencia transversal de cuerpo triaxiales es aproximadamente 770 Kg/cm^2 , por tanto para obtener cuerpos más fuertes es necesario añadir otros componentes refractarios a través del cuarzo.

2.4.4. Expansividad de los cuerpos

Las curvas de dilatación térmica y temperatura de cuerpos cerámico son interesantes por varias razones:

- 1) De la expansividad del cuerpo depende la clase de vidriado que le es más adecuado.

- 2) La existencia o falta de inversiones indicada por datos de dilatación térmica determina la velocidad de enfriamiento de la pieza acabada.

- 3) Es muy importante el coeficiente de dilatación térmica para determinar la resistencia de un cuerpo contra el choque térmico. En cuerpos triaxiales, las áreas de gran proporción de cuarzo tiene coeficientes de dilatación más altos y resistencia mínima contra el choque térmico; por tanto la gran cantidad de este material no es adecuado cuando se requiere una alta resistencia a esta propiedad.

2.5. ESMALTE

2.5.1. Descripción²³

Un esmalte cerámico es todo compuesto o mezcla de ellos que funden total o parcialmente al ser sometidas a temperaturas elevadas superiores a 650°C y que a merced de esta vitrificación se une íntimamente con un soporte que puede ser una pasta cerámica, un vidrio o un metal.

2.5.2. Composición del esmalte.

Un esmalte está constituido por una serie de compuestos, cada uno de los cuales aporta uno o más óxidos. La composición de un esmalte puede darse en función del porcentaje en que intervienen los distintos óxidos.

Los materiales usados en la composición de esmaltes se pueden clasificar en:

2.5.2.1 Materiales plásticos.

Los más usados en esmaltes son arcilla y caolines, ya que a la vez que introducen sílice y alúmina aumentan el agarre del esmalte crudo sobre el soporte y evitan la sedimentación de la suspensión de esmalte. No intervienen en grandes porcentajes ya que debido a la sílice y alúmina que introducen aumentan el punto de fusión, la viscosidad y la tensión superficial, también aumentan la contracción del esmalte crudo, con el consiguiente peligro de cuarteamiento en el secado.

²³ BRUGUERA J. (1986). Manual Práctico de Cerámica; Ediciones Omega S.A.: Barcelona-España, Pág 173-175.

2.5.2.2. Antiplásticos

El más usado es el cuarzo. También se usan feldespatos y similares.

2.5.2.3. Fundentes

Se usan los compuestos de plomo, boro y aquellos que tengan en su composición álcalis (óxidos de sodio y potasio). Algunos de ellos como el feldespato pueden ser fundentes y a la vez desgrasantes.

2.5.2.4. Agentes reguladores

Son usados según las necesidades del esmalte o método de aplicación, entre ellos tenemos:

Desfloculantes.- Aumentan algo la suspensión del esmalte y disminuyen la viscosidad de la barbotina.

Adhesivos.- Se usan cuando el esmalte es de constitución pulverulenta o posee poco agarre con el soporte cuando está crudo. También aumenta la resistencia al rose por lo que son añadidos en aquellos en que la pieza debe ser manejada frecuentemente antes de la cocción.

Agentes colorantes.- Son todos aquellos óxidos metálicos o mezclas de ellos que son capaces de producir coloraciones. Por ejemplo:

2.5.3. Características del esmalte.²⁴

La transparencia de un esmalte se debe a la capacidad de disolución de los materiales que lo constituyen por efecto del calor, y esta facultad, inherente en mayor o menor medida en todos los materiales, se implementa con la temperatura y el ciclo de cocción; es decir, a mayor temperatura más se disuelven los óxidos dando mayor

²⁴ J.L. VICENTIZ, S.L.; Suministros Cerámicos [online]. Disponible en Internet. URL: [95.http://www.vicentiz.com/Acrobat/info_parcial/esmaltes/generalidades.pdf](http://www.vicentiz.com/Acrobat/info_parcial/esmaltes/generalidades.pdf). Acceso: 18 de marzo de 2009; Pág. 5-8.

grado de transparencia. El mantenimiento a la temperatura de maduración o un enfriamiento más lento también lo favorece.

El aspecto brillante, desde un punto de vista cuantitativo, se verá afectado en primer lugar por los materiales que intervienen en su composición; por ejemplo: los compuestos de Pb favorecen más el brillo que los de boro, la alúmina disminuye el brillo y la transparencia; y en segundo término por la temperatura, un esmalte que ha quedado corto en temperatura presentará un brillo y transparencia deficientes, además de otros defectos propios, como el poco estirado.

Antes de la cocción del esmalte debe de estar completamente seco; caso contrario la humedad superficial al evaporarse bruscamente puede provocar que el esmalte se abra, separe, desconche o se formen burbujas.

Los esmaltes en general resultan mejor si se trabajan en bicocción (aplicación del esmalte sobre bizcocho), pues se consiguen superficies más regulares, tersas, y sin defectos; no obstante pueden ser aplicados en monococción.

2.6. EL PROCESO CERÁMICO

El proceso de elaboración de una pasta de porcelana química consta de los siguientes pasos:

2.6.1. Caracterización de materias primas

Se realiza cada vez que ha ingresado un nuevo lote de materia prima; esta etapa permite conocer las propiedades físicas y químicas con las que cuenta cada material.

2.6.2 Tratamiento de materias primas

Lo que se trata de hacer en este proceso es eliminar residuos orgánicos (hojas, raíces, etc.), de los materiales arcillosos por lavado. A los materiales no plásticos como cuarzo y feldespato, se someten a pulverización, lavado, tamización, separación de material y almacenamiento con el fin de eliminar restos de arcilla y óxidos.

2.6.3. Dosificación

Es la mezcla en porcentajes de los materiales que entran en la formulación de la pasta.

2.6.4. Molienda

En cerámica, la molienda es por vía húmeda y el objetivo es moler, homogenizar y formar la pasta cerámica (barbotina), en la molienda se agrega un defloculante a la pasta para que los materiales no tengan tendencia a sedimentar.

2.6.5 Tamizado

Es un proceso muy importante en la fabricación de pasta cerámicas para obtener un tamaño de partículas uniforme, generalmente este proceso se hace a través de una malla número 100.

2.6.6. Maduración o envejecimiento. ²⁵

Consiste en almacenar una pasta cerámica mezclada y dispuesta para su empleo en una bodega.

Durante este periodo se permite que nuevamente tenga lugar la reacción arcilla-agua (y otras lentas reacciones bacteriológicas), pudiendo producirse ciertas reacciones químicas. Se mejora la plasticidad de la arcilla; con frecuencia se piensa que el contenido de agua se hace más uniforme debido a la acción capilar. La maduración puede acelerarse por elevación de la temperatura.

2.6.7. Conformado

Es el método por el cual se forma la pieza, este puede ser por colado (pastas líquidas), por prensado (polvo atomizado), y por moldeado (torno).

2.6.8. Secado

²⁵ SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 10, Pág. 73.

Es una operación básica que consiste en exponer un sólido húmedo a la acción de una corriente de aire caliente y seco, con la finalidad de eliminar el líquido contenido por medio de evaporación. En la etapa de secado se elimina solamente el agua mecánica, mientras que agua higroscópica y agua químicamente enlazada se elimina durante la cocción.

2.6.9. Cocción

La cocción es la fase central del proceso cerámico, caracterizado por un conjunto, bastante complejo, de transformaciones físicas y reacciones químicas que son necesarios conocer para poder controlar este proceso.

Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son, el ciclo térmico (temperatura-tiempo), y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desee obtener.

En los productos no esmaltados, tras la etapa de secado se realiza la cocción. Asimismo, en el caso de productos esmaltados fabricados por bicocción, tras el secado de las piezas en crudo se realiza la primera cocción.

2.6.9.1 Reacciones que ocurren al cocer las pastas cerámicas.²⁶

El proceso de cocción puede dividirse en etapas a temperaturas crecientes, pero dichas etapas se solapan sin que haya siempre una neta separación en las mismas.

Terminación del secado: Las primeras etapas de la cocción suelen suponer eliminación de restos de agua. Esta agua es principalmente la adsorbida a la superficie de la arcilla, dicha etapa se completa a uno 200°C.

Oxidación de la materia orgánica: Todas las arcillas grasas contienen algo de materia orgánica en forma de pequeñas partículas de lignito. Para pastas de porcelana la oxidación tiene lugar entre 200 y 700°C para una elevación de temperatura de 25°C/hora, siendo más rápido en aire húmedo que en aire seco.

²⁶ NORTON F. (1983). Cerámica Fina, Tecnología y Aplicación, segunda edición; Ediciones Omega S.A: Barcelona-España, Pág. 257-258

Deshidroxilación de la arcilla: Consiste en la descomposición de los cristales hacia una estructura desordenada. Este cambio va acompañado de una ligera disminución del volumen total de la pasta, y de un considerado incremento de la porosidad.

Inversión de cuarzo: A temperaturas de 573°C, todo el cuarzo de la pasta pasa a la forma de alta temperatura. En general, esto no va acompañado de un gran cambio de volumen total porque los cristales elementales de cuarzo son pequeños y no significan una fracción importante.

Cristalización de la masa de arcilla: A unos 980°C, la estructura amorfa de los pseudomorfos de la arcilla se reorganiza, pasando primero a espinela y después a mullita sumamente fina.

Formación del vidrio: Tanto el feldespato de sosa como el de potasa empiezan a formar vidrio al calentarlos a unos 1100°C, en la zona de contacto entre el cristal de feldespato y la masa de arcilla que lo rodea. A medida que crece la temperatura, la fase vítrea aumenta de volumen, a temperaturas superiores todo el cristal de feldespato queda fundido, pero conserva la forma original del grano.

2.6.9.2. Tipos de horno²⁷

La cerámica moderna, fabricada industrialmente es cocida de dos maneras: en remesas en *hornos estacionarios*, o de forma continua en *hornos de túnel*.

2.6.9.2.1. Hornos estacionarios

En este tipo de horno los objetos son colocados cuando estos se encuentran fríos, siendo estos calentados bajo un programa de tiempo-temperatura predeterminado hasta alcanzar el máximo de temperatura, esta temperatura es generalmente mantenida durante cierto periodo de tiempo (de hasta 3 horas) denominado empapado o soak; pasado este periodo se interrumpe la fuente de calor y se permite que los objetos se enfríen de forma natural en el horno, hasta que éste se encuentre lo suficientemente frío para retirar las piezas.

²⁷ RADO P. (1990). Introducción a la Tecnología de la Cerámica; Ediciones Omega S.A. Barcelona-España, Pag. 131-137.

Dentro de este tipo de hornos tenemos los siguientes: hornos de botella, de mufla, de carretas y hornos de sombrero de copa.

2.6.9.2.2. Hornos de Túnel

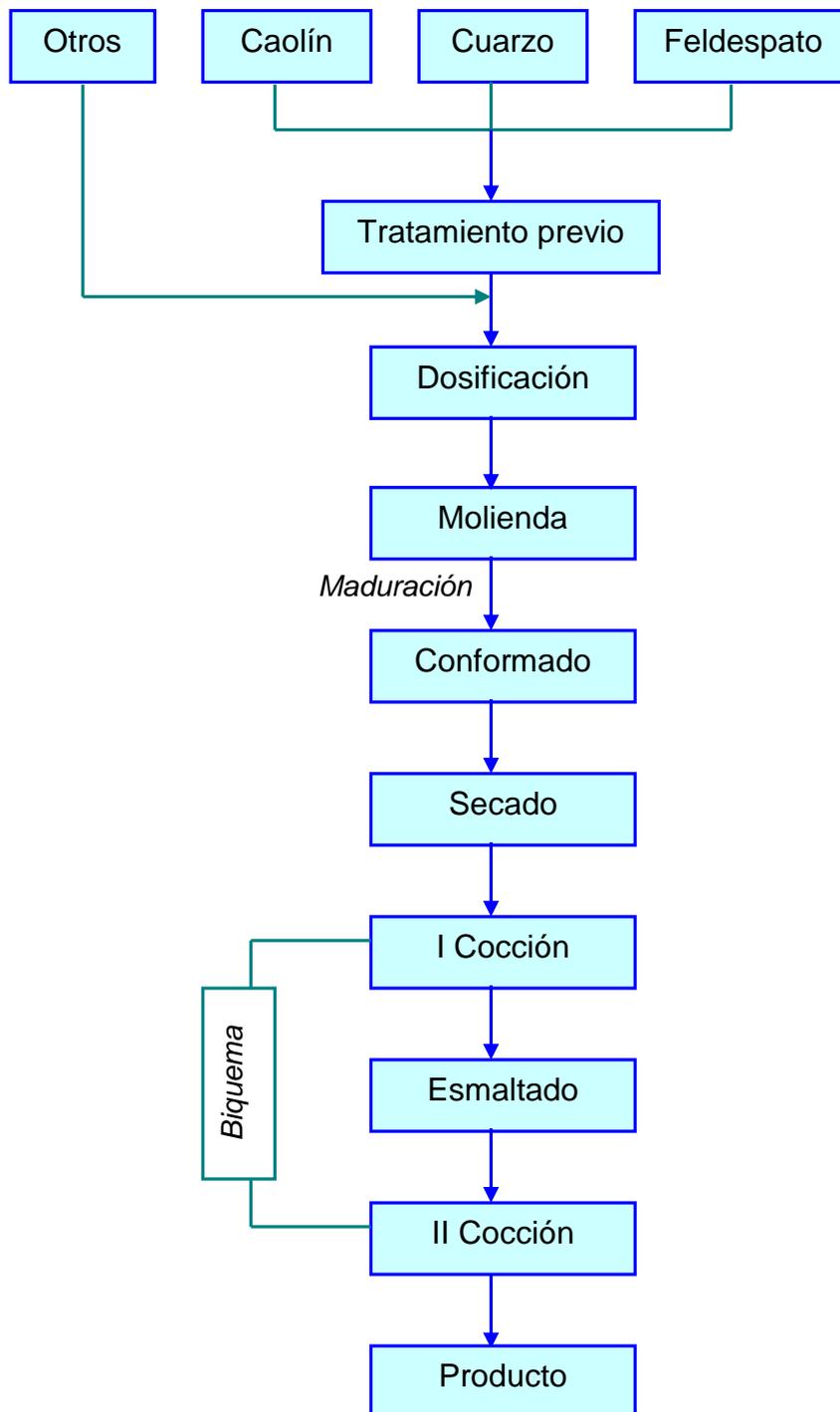
Suelen ser dobles túneles separados por elementos de caldeo en la zona caliente. Las piezas avanzan en sentidos opuestos en uno y otro de forma que hay transferencia de calor por radiación y convección entre ambos, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento

Dentro de este tipo de hornos tenemos: túneles convencionales de alta masa eléctrica, hornos multipasaje de Gottignies, horno de trento, hornos de rodillo, hornos de trineo, hornos de vigas ambulantes, hornos flotantes.

2.6.10. Esmaltado

Es la aplicación de una capa fina de vidriado sobre la pieza cerámica para darle mejor apariencia estética y mayor resistencia a la pieza. En el caso de una monoquema esta operación se puede realizar en conjunto con la pieza en crudo. En caso de una biquema, se aplica sobre la pieza de bizcocho.

2.6.11. Diagrama de Flujo General del Proceso Cerámico



CAPÍTULO III

EXPOSICIÓN DE OBJETIVOS

3. EXPOSICIÓN DE OBJETIVOS

3.1 FIN DEL PROYECTO

Aportar con la elaboración de una nueva pasta del tipo porcelana química, con el fin de incrementar los procesos de producción en la planta de cerámica CERART.

3.2 PROPÓSITO DEL PROYECTO

Obtener una formulación de pasta de porcelana química que permita la elaboración de materiales de laboratorio; aportando de esta manera al desarrollo de la planta de Cerámica CERART.

3.3 COMPONENTES DEL PROYECTO

- Establecer la formulación de porcelana química más adecuada para utilizarse en la elaboración de material de laboratorios y de diversos usos en plantas industriales.
- Desarrollar un Protocolo de Control de Calidad para la Producción de Piezas de Porcelana Química.
- Evaluación económica en cada una de las etapas acordes a la fabricación de la porcelana química.

CAPÍTULO IV

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

4. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.

4.1. Ho = La composición de pasta de porcelana química no tiene un porcentaje de absorción mayor con respecto a la porcelana de referencia.

4.2. Ho = La composición de pasta de porcelana química formulada no presenta un porcentaje mayor de contracción total con respecto a la porcelana de referencia.

4.3. Ho = La composición de pasta de porcelana química no hace aumentar la resistencia mecánica a la flexión con respecto a la porcelana de referencia.

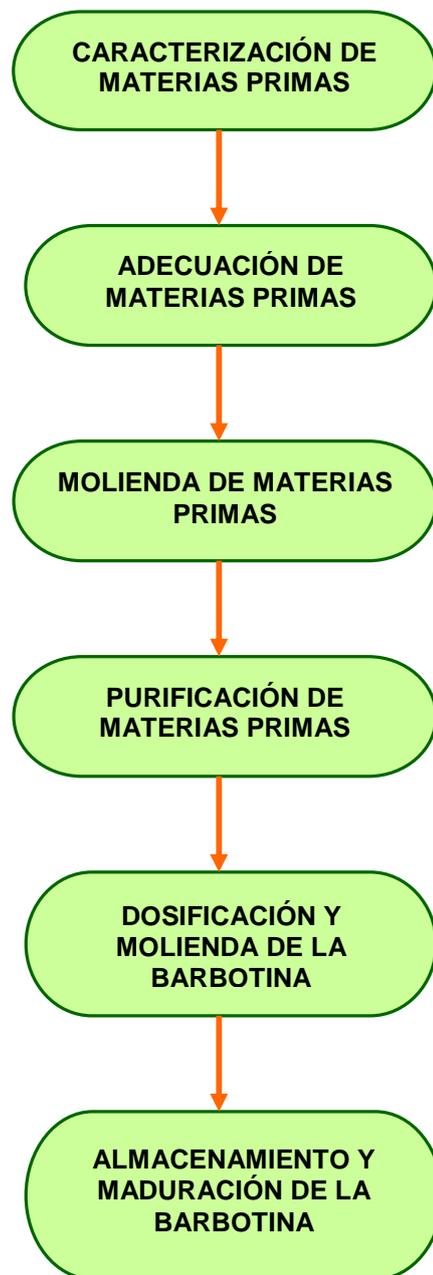
CAPÍTULO V

MATERIALES Y MÉTODOS

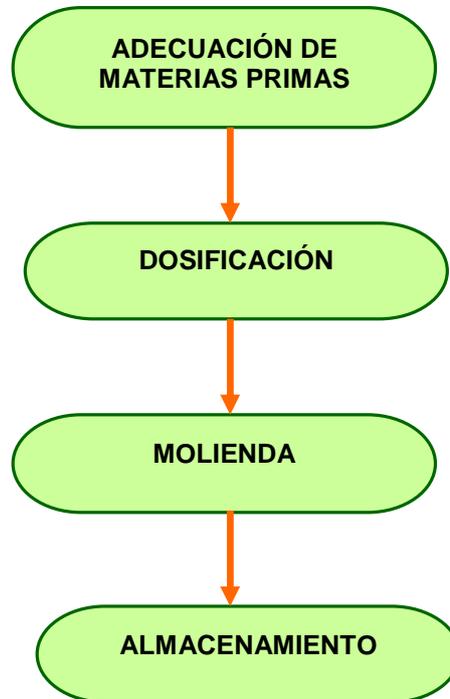
5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1.1 Diagrama de proceso para la fabricación de pasta.



5.1.2. Diagrama de proceso para la fabricación del esmalte.



5.1.3. Diagrama del proceso de elaboración de piezas de porcelana química.



5.2. DESARROLLO DE PRUEBAS

El desarrollo de la presente tesis para la elaboración de pasta de porcelana química se basó en rangos de datos obtenidos de bibliografía, los cuales presentan la composición mostrada en la *tabla 5.1*:

TABLA 5.1. Composición de pasta para porcelana

CUERPO	COMPOSICIÓN %		
	Caolín	Feldespatos	Cuarzo
PORCELANA QUIMICA	60-82	15-9	25-9

5.2.1. Descripción del proceso para la fabricación de pasta

El proceso de fabricación de una pasta incluye varias etapas que van desde la recepción de materias primas hasta la obtención del producto final. La metodología de trabajo de cada etapa se lo encuentra en el Protocolo de Control de Calidad; documento que se adjunta a este trabajo.

A continuación se describe de forma breve lo que comprende cada una de estas etapas:

5.2.1.1. Caracterización de materias primas

Corresponde al análisis físico, químico y mecánico de cada material utilizado de manera que podamos conocer las propiedades y características que presentan.

5.2.1.1.1. Determinación de color en crudo y pureza de la materia prima.

El método utilizado es el de inspección visual, se debe tomar alrededor de 100g de una muestra homogénea de cada materia prima para inspeccionar minuciosamente las características de color y pureza identificando la uniformidad en el color de la materia prima, calificándolas como:

A: Materia prima pura (color homogéneo)

B: Materia prima con pocas impurezas

C: Materia prima contaminada (color no homogéneo)

5.2.1.1.2. Determinación de color a la quema de materia prima.

Para esta prueba se toman 100g de material y se los coloca sobre una placa de bizcocho, se quema a la temperatura de 1110°C. Una vez quemada la muestra se la ubica sobre una superficie limpia y seca para realizar una inspección visual y poder identificar la coloración que han tomado las materias primas después de la quema.

5.2.1.1.3. Determinación de Densidad de materia prima

Este ensayo se realiza por el método de la Probeta; se necesita aproximadamente 250 g de material seco tamizado por malla 100, se coloca la probeta sobre una balanza electrónica y se encera, luego se agrega el material hasta llegar a un volumen de 100 ml y se toma el peso. Este valor lo dividimos para 100 ml y es el resultado es el valor de densidad.

5.2.1.1.4. Determinación de la Distribución Granulométrica de materia prima.

Se realiza por el método de tamizado por vía húmeda, se requieren 100gr. netos de muestra (descontada la humedad), posteriormente se colocan sobre una serie de 3 tamices(mallas de 120, 235 y 325) colocados sobre un vibrotamiz, el proceso dura hasta que se obtenga un agua clara, luego se coloca los residuos de cada tamiz sobre capsulas de aluminio y se secan sobre una cocineta por 10 minutos, se deja enfriar a temperatura ambiente y se toman los pesos de los retenidos de cada tamiz por separado y la suma de estos nos da el peso total de retenidos a malla 325.

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3}$$

Donde:

P_T : *Peso Total Retenidos*

5.2.1.1.5. Determinación de la contracción al secado, a la quema y total de materia prima.

Para este ensayo se requiere aproximadamente 600 g de material seco tamizado por malla 100, se le agrega aproximadamente 400ml de agua para formar una pasta consistente. Una vez formada la pasta se procede a colar sobre moldes de yeso para obtener placas de aproximadamente 5 cm de ancho x 9 cm de largo y 0.4 cm de espesor, las placas deben tener una consistencia adecuada que permitan hacer incisiones con las puntas del calibrador a una distancia de 5 cm en forma diagonal. Una vez que haya transcurrido el tiempo de secado (2 días) se debe medir nuevamente la distancia que existe entre las incisiones para poder determinar el porcentaje de contracción al secado.

Donde:

CL_s : Contracción lineal al secado

L_{is} : Longitud inicial de las incisiones al secado

L_{fs} : Longitud final de las incisiones al secado

$$CL_s = \frac{(L_{is} - L_{fs})}{L_{is}} \times 100$$

Una vez calculada la contracción al secado las placas se someten a quema a temperatura de 1110°C, para luego nuevamente medir la distancia entre las incisiones y poder determinar el porcentaje de contracción a la quema.

Donde:

CL_q : Contracción lineal en la quema

L_{fs} : Longitud final de las incisiones al secado

L_{fq} : Longitud final de las incisiones en la quema

$$CL_q = \frac{(L_{fs} - L_{fq})}{L_{fs}} \times 100$$

La contracción total se calcula mediante la suma de la contracción al secado y a la quema.

Donde:

CT : Porcentaje de contracción total

CL_s : Contracción lineal al secado

CL_q : Contracción lineal en la quema

$$CT = CL_s + CL_q$$

5.2.1.1.6. Determinación del porcentaje de Absorción de Agua de la materia prima.

Se hace uso de las placas provenientes del ensayo de contracción a la quema; codificando adecuadamente cada placa y tomando el peso seco (P_s) para realizar los cálculos respectivos. Se colocan los especímenes en el recipiente con agua y se hace hervir por 2 horas, cuidando que los mismos estén cubiertos con agua todo el tiempo. Después retirar el recipiente de la fuente de calor y dejar en remojo por 24 horas, cuidando que todos los especímenes permanezcan sumergidos.

Después de la impregnación, secar cada espécimen con una tela de algodón, saturada de agua y exprimida hasta eliminar toda el agua no embebida, eliminando todo el exceso de agua de la superficie del espécimen y registrar esta masa como masa húmeda (P_h). Seguidamente para determinar la porosidad de las placas, se prepara una probeta llena de agua hasta una medida de referencia de manera que al someter uno de los especímenes se pueda medir el volumen desplazado, tomar esta medida (V).

Para la presentación de resultados, se lo hace mediante el promedio de todas las placas utilizadas.

Porcentaje de absorción de agua

$$A = \left[\frac{(P_h - P_s)}{P_s} \right] \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje de absorción de agua.

P_h = Masa húmeda, en gramos.

P_s = Masa seca, en gramos

Espacio Poroso

$$EP = \frac{(P_h - P_s) \times 100}{V}$$

Donde:

EP = Espacio poroso

P_h = Masa húmeda, en gramos

P_s = Masa seca, en gramos

V = Volumen desplazado

Adicionalmente con la obtención de estos datos se puede determinar la densidad real y densidad aparente, así:

Densidad Real

Donde:

$$DR = \frac{Ps}{[V - (Ph - Ps)]}$$

Densidad Aparente

$$DA = \frac{Ps}{V}$$

DR = Densidad real

Ph = Masa húmeda , en gramos

Ps = Masa seca, en gramos

V = Volumen desplazado

Donde:

DA = Densidad aparente

Ps = Masa seca, en gramos

V = Volumen desplazado

5.2.1.1.7. Análisis Químico de materia prima.

Este ensayo se realiza por espectrofotometría para lo que se hace uso de materias primas secas tamizadas por malla 100, las cuales reciben un tratamiento mediante el uso de reactivos, los cuales son analizados en un espectrofotómetro de absorción atómica. Esta prueba se realiza en los Laboratorios del CESEMIN de la ciudad de Cuenca.

5.2.1.1.8. Determinación de plasticidad de las materias primas.

Esta prueba se realiza en el CESEMIN por medio del método de la cuchara.

Se requieren 300g de muestra seca tamizada por malla 40, se forma una masa agregando agua al material preparado: se calibra la altura máxima de la cuchara y se realiza una incisión en el centro a lo largo de la masa, se enciende el equipo y un contador marca el número de golpes se dan golpes hasta que se presente un punto de unión en la incisión, en este momento se determina la humedad. Este procedimiento se realiza tres veces. Con las tres experiencias se grafican el número de golpes vs los porcentajes de humedades. Se traza una línea recta para 25 golpes y el valor en abscisas en el punto de intersección con la curva nos da el límite líquido.

Se deja secar la masa y se amasa hasta cuando empieza a disgregarse, en este momento se determina la humedad, este valor corresponde al límite plástico. El índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

5.2.1.1.9. Resistencia Mecánica de las materias primas.

Se realiza con placas formadas a partir de cada materia prima y que fueron quemadas a la temperatura de bizcocho (1110°C), estas placas son colocadas el equipo Versa Testar de Unidad Civil y Geominera.

Se coloca el espécimen horizontalmente sobre las barras de soporte, separadas con una luz igual a $\frac{3}{4}$ de la dimensión correspondiente del espécimen, asegurando la distribución uniforme de la carga por medio de un empaque apropiado entre el espécimen y los soportes. Aplicar la carga en una dirección perpendicular al plano del espécimen, a una razón uniforme de 45 a 55 Kg. /min.

Para los cálculos la carga individual de rotura debe ser registrada y la resistencia a la flexión debe obtenerse dividiendo la carga de rotura por el ancho del espécimen. El promedio de valores de los seis especímenes sometidos al ensayo será la resistencia mecánica a la flexión del material a analizar y se expresa en Kg. / cm².

Donde:

b = Ancho de la muestra.

h = Espesor de la muestra.

L = Longitud entre apoyos.

$$Gf = \frac{3 F \times L}{2 b \times h^2} \times \frac{L}{2}$$

5.2.1.2. Adecuación de las materias primas para la pasta

En esta etapa se procede a eliminar las impurezas visibles de las materias primas tales como raíces, hojas y acumulación de materiales extraños, a fin de conseguir materias primas lo mas limpias antes de ser sometidas a la molienda.

5.2.1.3. Molienda de materias primas

La molienda se realizó en un molino de bolas con elementos molidores de sílice (Ver fotografía N°1), por vía húmeda, a fin de conseguir la reducción de tamaño de sus granos o partículas de manera que se pueda obtener una misma granulometría para cada materia prima.

Los materiales sometidos a la molienda fueron únicamente aquellas materias primas consideradas duras como lo son: *sílice y feldespatos (marcabellí)*, de esta manera la molienda cumplió con los siguientes parámetros:

Capacidad máxima: 100 Kg

Carga de materia prima: 41.8 Kg. de *Sílice*; 43.25 Kg. de *Feldespató (Marcabelí)*

Cantidad de agua: 30.89 lt. de *Sílice*; 31 lt de *Feldespató (Marcabelí)*

Tiempo de molienda: 4 horas de *Sílice*; 3 horas de *Feldespató (Marcabelí)*



FOTOGRAFIA N°1: Molino de la planta CERART
ELABORACIÓN: Los Autores

Cabe mencionar que estas materias primas necesitaron de adición de 400 gramos de desfloculante para evitar la sedimentación.

En el caso del caolín (*belén*) por ser una arcilla, fue sometido simplemente a una trituración en seco mediante la utilización de rodillos, la cantidad utilizada fue de 42.5 Kg.

5.2.1.4. Purificación de materias primas.

Constituye una de las fases importantes en la elaboración de esta pasta, la purificación de las materias primas consiste en someter el material salido de la molienda (*sílice, feldespató*) a unos recipientes que contienen imanes de manera que estos extraigan la mayor cantidad posible de partículas de hierro; se conserva durante 15 días en estos depósitos removiendo continuamente el material y extrayendo así mismo los imanes de manera que al lavarlos se eliminen las partículas de hierro adheridas a estos.

Con respecto al caolín (*belén*) fue acondicionado mediante la adición de agua hasta formar una pasta fluida para luego transportarla al recipiente con imanes y de la misma forma proseguir como en el caso de las materias primas anteriormente señaladas.

Una vez transcurrido este tiempo las materias primas fueron sometidas a una temperatura de 60°C por 24 horas en una estufa para conseguir que el material se encuentre completamente seco, durante el secado el material formó grandes bloques de masas de manera que cada uno ellos fueron totalmente trituradas y tamizadas por

malla 100, con el fin así mismo de seguir eliminando impurezas y además entrar a la molienda de la barbotina con una misma granulometría y material seco.

5.2.1.5. Dosificación y molienda de barbotina

Para la fabricación de la pasta primeramente se realizó los cálculos de humedad de cada una de las materias primas para ver con cuanta agua aportan en la mezcla total, además ayudó a determinar la cantidad de agua real a añadir a fin de obtener una pasta con la humedad deseada.

Los porcentajes añadidos de cada materia prima son en base a los datos proporcionados por la bibliografía (Ver tabla 5.1), de manera que éstos fueron variando hasta encontrar la formulación óptima.

La molienda se realizó en un molino de bolas a nivel de laboratorio, con elementos molidores de sílice (Ver fotografía N°2), durante un tiempo de 1H30 a 1H45 de manera que se obtenga una pasta que pase a malla 325 con retenidos de 1.3 a 1.6%, dando una excelente pasta. La molienda cumplió los siguientes parámetros:

Capacidad máxima: 5 litros

Carga de materia prima: 2000 a 2500 gramos netos.



FOTOGRAFIA N°2: Molino de laboratorio de la planta CERART
ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.1.6. Almacenamiento y maduración de la barbotina

El almacenamiento se lo hizo en fuentes plásticas a temperatura ambiente, totalmente cubiertas a fin de evitar alguna contaminación de esta manera se dio lugar a las reacciones químicas pertinentes luego de constituirse la pasta, ésta se sometió a un periodo maduración de 20 días como mínimo, de manera que se obtuvo una pasta en condiciones óptimas para la formación de piezas.

5.2.2. Descripción del proceso para la elaboración de piezas de porcelana.

La elaboración de piezas de porcelana química comprende las siguientes etapas:

5.2.2.1. Acondicionamiento de barbotina de colado

Una vez cumplido el periodo de maduración de la pasta se procede a analizar las características que presenta la misma para verificar si ésta cumple con los parámetros que se requiere de humedad, densidad y tixotropía. De ser así la pasta puede ser utilizada para el colado de piezas o caso contrario deberá realizarse los cálculos para proceder al acondicionamiento de la misma hasta cumplir con los parámetros establecidos. Los parámetros se encuentran especificados en “*CONTROL EN PASTA PARA COLADO*” del Protocolo de Control de Calidad.

5.2.2.2. Colado de piezas

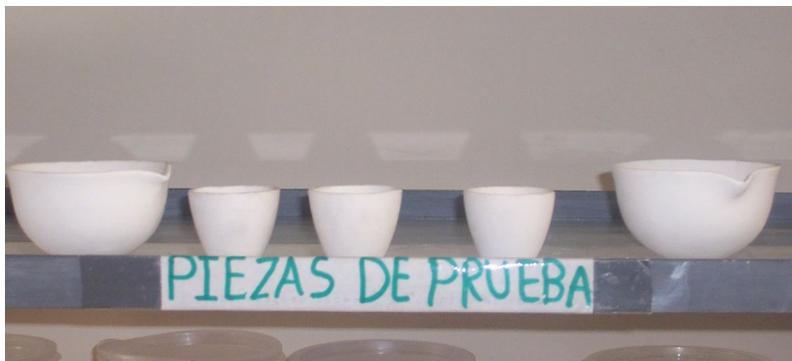
Para el formado de piezas se realizó por el método de colado normal (*Ver fotografía N°3*) para lo cual fue necesario la utilización de moldes de yeso (cuya composición es 65% yeso Poterry y 35% de agua); tomando en cuenta que los moldes deben secarse bien antes de uso, caso contrario causaría problemas en la formación de piezas. Para la fase propiamente de colado se requiere colocar los moldes sobre una superficie bien nivelada y que permita desalojar la pasta sobrante después del tiempo de colado, transcurridos alrededor de 10 minutos la pasta obtiene una humedad óptima para ser desprendida del molde sin que sufra ningún daño la pieza. El tiempo de colado se estima según el tipo de piezas el cual se especifica en “*CONTROL EN FORMACIÓN DE PIEZAS POR COLADO*” del Protocolo de Control de Calidad.



FOTOGRAFIA N°3: Proceso de colado de piezas porcelana química
ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.2.3 Secado de piezas.

Debido a que las piezas que se elaboraron son pequeñas éstas fueron secadas en estanterías al aire libre por un lapso de 7 días (*Ver fotografía N°4*).



FOTOGRAFIA N°4: Proceso de secado de piezas porcelana química
ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.2.4. Recorte y pulido de piezas

Se perfecciona la forma de las piezas eliminando las rebabas y posibles huellas dactilares que pudieron haber quedado de la manipulación de las piezas, esto se hace con la ayuda de una vileda para eliminar irregularidades gruesas y luego con una esponja humedecida con agua para darle un mejor acabado (*Ver fotografía N°5*). Las piezas pulidas tienen un secado al medio ambiente.



FOTOGRAFIA N°5: Proceso de recorte y pulido de piezas
porcelana química
ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.2.5. Quema de bizcocho

La fabricación de piezas de porcelana son sometidas a un proceso de bicocción, de manera que tras el secado se realizó la primera cocción a una temperatura de 1100°C en un horno estacionario con un castillo armado el cual contiene placas recubiertas con pasta refractaria al igual que paredes del horno (*Ver fotografía N°6*). Esta etapa dio un ciclo de quema de 11 horas.



FOTOGRAFIA N°6: Horno de quema de la planta de CERART
ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.2.6. Esmaltación

La esmaltación de piezas fue aplicada por inmersión, mediante la utilización de un recipiente donde se vació el esmalte, de manera que haya facilidad en poder sumergir la pieza (*Ver fotografía 7*). Una vez esmaltada la pieza fue secada al ambiente por tres días para su posterior etapa. El esmalte debe cumplir con los parámetros establecidos en “CONTROL EN ESMALTADO DE PIEZAS” del Protocolo de Control de Calidad.



FOTOGRAFIA N°7: Proceso de esmaltado por inmersión de piezas porcelana química

ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.2.7. Cocción de piezas esmaltadas

La cocción de estas piezas se realizó en un horno estacionario eléctrico de pruebas del Laboratorio del CESEMIN (Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y no Metálicos) de la ciudad de Cuenca (*Ver fotografía N°8*), a una temperatura de 1200°C siendo el ciclo de quema de 6H30. El equipo es un horno que alcanza altas temperaturas y está compuesto de paredes de revestimiento cerámico refractario.



FOTOGRAFIA N°8: Horno de pruebas del CESEMIN

ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.3. Descripción del proceso para la fabricación de esmalte.

5.2.3.1 Adecuación de materias primas

Las materias primas para la elaboración de esmalte fueron: caolín (belén), sílice, chamota, de manera que durante esta etapa se realizó una previa homogenización del material; así mismo un respectivo análisis de humedad para facilitar los cálculos en la dosificación. Es importante señalar que las materias primas utilizadas (sílice y caolín) para la fabricación de esmalte fueron las mismas que se intervinieron en la formulación de pasta, por tanto se trabajó con materias primas purificadas, a excepción de la chamota.

5.2.3.2 Dosificación

Para la fabricación de esmalte se partió de una frita ya elaborada denominada MGT 0008, la misma que se provee de la planta de cerámica Artesa de la ciudad de Cuenca; se elaboró un esmalte base constituido por 90% de frita, 10% de caolín, 0.1% de C.M.C. por cada 100g y agua tomando en cuenta las humedades del material a cargar. Constituido el esmalte base se jugó con las formulaciones mediante la adición de la materia prima anteriormente señalada.

5.2.3.3. Molienda

La molienda se la realizó en un molino de bolas a nivel de laboratorio con elementos moledores de sílice y una capacidad de 1.5 L (*Ver fotografía N°9*), se unificó el esmalte base con los materiales adicionales de manera que se hizo una sola molienda y no por separado, esto se realizó por un tiempo de 2 horas por vía húmeda, de manera que el esmalte pase por malla 325 con un retenido real de 0.3 a 0.6%,



FOTOGRAFIA N°9: Molino de bolas del laboratorio de la Planta CERART

ELABORACIÓN: Los Autores

5.2.3.4. Almacenamiento

Una vez que el esmalte cumpla con los parámetros establecidos, éste es almacenado en su respectivo contenedor para su posterior aplicación; conviene recalcar la importancia de tapar bien a fin de evitar alguna contaminación.

CAPÍTULO VI
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE
RESULTADOS

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. PRUEBAS PARA FORMULACIÓN DE PASTA DE PORCELANA QUÍMICA.

6.1.1 Obtención y caracterización de materias primas

Todas las materias primas utilizadas en el presente proyecto fueron suministradas por la Planta de Cerámica CERART. Los ensayos de la caracterización fueron realizados en las instalaciones de esta entidad bajo la dirección del Responsable de Laboratorio. Los resultados se muestran en la *tabla 6.1*:

TABLA 6.1. Caracterización de materias primas

Ensayo	Nombre	Feldespató (Marcabelí)	Caolín (Belén)	Sílice
Humedad (%)		3,2	8,6	4,4
Densidad (g/cm ³)		2,62	2,41	2.76
Granulometría (100 g secos):				
	Malla 120	0.58 g	0.34 g	0.63 g
	Malla 230	13.11 g	5.73 g	15.26 g
	Malla 325	9.75 g	3.03 g	12.11 g
	Total	23.44 g	9.10 g	28.00 g
	Real (%)	24.21	9.96	29.29
Color en crudo		Crema	Crema	Crema
Color a la quema		Rosado Claro	Blanco hueso	Blanco hueso
Pureza		B	C	B
Contracción al secado a 1110 °C (%)		No aplicable	4.47	No Aplicable
Contracción a la quema a 1110 °C (%)		No aplicable	6.12	No Aplicable
Contracción total (%)		No aplicable	10.59	No Aplicable
Absorción de agua a 1110 °C (%)		No aplicable	25.64	No Aplicable

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2 Pruebas preliminares

Para el desarrollo de estas pruebas preliminares se procedió a variar las composiciones de cada materia prima de acuerdo a lo encontrado en bibliografía (*Ver tabla 5.1*). Una vez hechos los cálculos y ajustes pertinentes se procedió a moler en un molino de bolas con capacidad de 5 litros hasta obtener la formulación adecuada que no muestre problemas en el producto terminado, por tal motivo para cada prueba se realizó un análisis de laboratorio y caracterización de cada pasta preliminar, los

mismos que ayudaron a escoger la formulación que más se ajuste a los requerimientos de la porcelana química. Cabe mencionar que a la pasta una vez que se descargó del molino se tamizó por malla 100 para eliminar cualquier impureza. Los resultados presentados corresponden a una inspección visual y a ensayos realizados en el laboratorio de la planta de CERART y de la UCG.

6.1.2.1 Primera prueba para la obtención de pasta

Esta primera formulación (Ver tabla 6.2), incluyó la adición de CMC, metasilicato de sodio y silicato de sodio líquido mostrados en la tabla 6.3; fue sometida a 3 días de maduración luego de su molienda, de la cual se obtuvo una pasta con buena consistencia, de color crema y fluidez aceptable, sin embargo mostró defectos en la etapa de colado, ya que desde el momento de la formación de la pieza se notó trizaduras, y adherimiento de la pasta a las paredes de los moldes, debido a que la pasta no presentaba una plasticidad adecuada. Las piezas en crudo fueron sometidas a la quema de 1100°C dando una coloración no deseada, quebrantamiento y despostillamiento en las piezas cocidas. Los resultados del análisis de laboratorio se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.2. Formulación de pasta PQ1

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	59.41
Feldespató (Marcabelí)	14.85
Sílice	24.75
Talco	0.99
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.3. Aditivos para pasta PQ1

Aditivo	%
CMC diluido al 2.5%	0.74
Metasilicato de sodio	0.21
Silicato de sodio líquido diluido al 50%	0.14

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.4. Análisis en laboratorio de la pasta PQ1

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	52.00	%
Densidad	1.66	g/cm ³
Retenidos	2.92	%
Tiempo de molienda	0.50	h
Viscosidad	15.00	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.2 Segunda prueba para la obtención de pasta

En esta segunda formulación (*Ver tabla 6.5*) se modificó la composición de las materias primas, aumentando el porcentaje de caolín y disminuyendo tanto el feldespató como la sílice, con el fin de aumentar la plasticidad en la pasta. De la misma manera se incluyó en su molienda cierta cantidad de aditivos mostrados en la *tabla 6.6* y luego de su molienda fue sometida a 5 días de maduración. La pasta obtenida presentó problema en el conformado de las piezas como son: dificultad al momento de desmoldarlas, y contextura quebradizas, además la coloración luego de la quema fue crema presentando fisuras y agrietamientos, debido al porcentaje de retenidos demasiado bajo que esta presentaba.

Los resultados de su análisis se muestran en la *tabla 6.7*.

Tabla 6.5. Formulación de pasta PQ2

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	69.31
Feldespató (Marcabelí)	11.88
Sílice	17.82
Talco	0.99
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.6. Aditivos para pasta PQ2

Aditivo	%
CMC diluido al 2.5%	0.25
Metasilicato de sodio	0.21
Silicato de sodio líquido diluido al 50%	0.14

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.7. Análisis en laboratorio de pasta PQ2

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	38.90	%
Densidad	1.66	g/cm ³
Retenidos	0.39	%
Tiempo de molienda	2.00	h
Viscosidad	14.03	s

FUENTE: Investigación experimental
ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.3. Tercera prueba para la obtención de pasta

Igualmente se modificó el porcentaje de las tres materias primas básicas (*Ver tabla 6.8*) debido a que se necesitaba conseguir una plasticidad más acorde para la barbotina de colado, la adición de aditivos en su molienda se muestra en la *tabla 6.9*. El periodo de maduración de la pasta fue 10 días.

La presencia de dificultades fue disminuyendo por el hecho de adicionar en mayor cantidad el caolín y la prolongación en el tiempo de maduración, sin embargo las trizaduras en la formación de piezas fueron notorias, así mismo al observar el color luego de la quema no mostró mucha diferencia con respecto a las anteriores, y las piezas una vez en bizcocho se notaba con ciertas torceduras por lo que se decidió probar con un nuevo porcentaje de retenidos de la pasta, ya que el tamaño de grano muy grueso provoca trizaduras y un grano muy fino causa que las piezas se tuerzan luego de la quema. Los resultados de su análisis de laboratorio se muestran en la *tabla 6.10*.

Tabla 6.8. Formulación de pasta PQ3

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	74.26
Feldespató (Marcabelí)	10.89
Sílice	13.86
Talco	0.99
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental
ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.9. Aditivos para pasta PQ3

Aditivo	%
CMC diluido al 2.5%	0.59
Metasilicato de sodio	0.21
Silicato de sodio líquido diluido al 50%	0.14

FUENTE: Investigación experimental
ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.10. Análisis en laboratorio de pasta PQ3

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	40.30	%
Densidad	1.66	g/cm ³
Retenidos	1.97	%
Tiempo de molienda	1.00	h
Viscosidad	9.09	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.4. Cuarta prueba para la obtención de pasta

Ya con las experiencias anteriores pudimos establecer ciertos rangos que nos ayudaron en la formulación de esta pasta (*Ver tabla 6.11*) y para futuras pruebas, tales como: el porcentaje de retenidos de 1.3 a 1.6%, tiempo de maduración de pasta de 20 días y la cantidad de aditivos mostrados en la *tabla 6.12*.

Con esta pasta se pudo obtener buenos resultados en cuanto a la formación de piezas, facilitó las operaciones de colado y desmolde de las mismas; no presentaron trizaduras luego del tiempo de secado y de la quema de bizcocho; pero no se obtuvo un color blanco satisfactorio.

Los resultados de su análisis se indican en la *tabla 6.13*.

Tabla 6.11. Formulación de pasta PQ4

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	79.21
Feldespató (Marcabelí)	9.90
Sílice	9.90
Talco	0.99
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.12. Aditivos para pasta PQ4

Aditivo	%
CMC diluido al 2.5%	0.50
Metasilicato de sodio	0.21
Silicato de sodio líquido diluido al 50%	0.15

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.13. Análisis en laboratorio de pasta PQ4

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	38.30	%
Densidad	1.68	g/cm ³
Retenidos	1.47	%
Tiempo de molienda	1.25	h
Viscosidad	11.12	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.5. Quinta prueba para la obtención de pasta

La carga de aditivos se incorporó de acuerdo a lo establecido en la tabla 6.12 y el tiempo de maduración no varió con respecto a la prueba anterior.

Para esta formulación (*Ver tabla 6.14*) se trató de corregir el color de la pasta obtenida anteriormente, por lo que se aumenta en un 2% el porcentaje de la materia prima mayoritaria; sin embargo se obtuvo un efecto contrario ya que el color tomó una tonalidad más oscura; en cuanto a propiedades de la pasta no hubo variación con respecto a la anterior por lo que en la etapa de colado no presentó mayores dificultades. Los resultados del análisis de laboratorio se muestran en la *tabla 6.15*.

Tabla 6.14. Formulación de pasta PQ5

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	81.19
Feldespató (Marcabelí)	8.91
Sílice	8.91
Talco	0.99
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.15. Análisis en Laboratorio de pasta PQ5

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	35.90	%
Densidad	1.68	g/cm ³
Retenidos	1.58	%
Tiempo de molienda	1.25	h
Viscosidad	14.41	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.6. Sexta prueba para la obtención de pasta

Debido a que la cuarta formulación proporcionó mejores características se procedió a incorporar nuevos componentes sobre la base de la composición descrita en la *tabla 6.11*; por tal motivo en esta formulación se aumentó la cantidad de talco (*Ver tabla 6.16*).

Cabe recalcar que para esta prueba y para las próximas experiencias quedó establecido el porcentaje de retenido y tiempo de maduración descritos en la cuarta formulación, así como también los aditivos mostrados en la *tabla 6.12*.

Con este cambio se procuró en principio mejorar el color de la pasta así como otras propiedades, no habiendo obtenido dificultades en el conformado de la piezas, luego de la quema de bizcocho se obtuvo un resultado no satisfactorio en cuanto al color, por lo que se considera seguir experimentando con un porcentaje mayor de talco.

Los resultados de su análisis de laboratorio se detallan en la *tabla 6.17*.

Tabla 6.16. Formulación de pasta PQ6

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	76.19
Feldespató (Marcabelí)	9.52
Sílice	9.52
Talco	4.76
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.17. Análisis en Laboratorio de pasta PQ6

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	38.75	%
Densidad	1.68	g/cm ³
Retenidos	1.49	%
Tiempo de molienda	1.33	h
Viscosidad	12.63	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.7. Séptima prueba para la obtención de pasta

Con el fin de mejorar más la blancura de la pasta se adicionó más cantidad de talco en la formulación mostrada en la *tabla 6.18*. Las propiedades en el colado no variaron, se presentó incluso una mejoría para el desmolde de las piezas; el problema con esta pasta surgió luego de la quema de bizcocho ya que las piezas salieron quebradas del horno; con respecto a la coloración no se obtuvo un cambio significativo, por lo que se decidió intentar con otros componentes sin descartar que la composición llevara cierto porcentaje de talco.

Los análisis de laboratorio se muestran en la *tabla 6.19*.

Tabla 6.18. Formulación de pasta PQ7

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	71.11
Feldespató (Marcabelí)	8.89
Sílice	8.89
Talco	11.11
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.19. Análisis en Laboratorio de pasta PQ7

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	40.06	%
Densidad	1.61	g/cm ³
Retenidos	1.49	%
Tiempo de molienda	1.33	H
Viscosidad	11.48	S

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Debido a que en las pruebas 6 y 7 no se obtuvo mucha diferencia por la adición de talco sin embargo por sus propiedades aportadas se optó por dejar en las formulaciones posteriores un porcentaje de este material que vaya aproximado a lo obtenido en la sexta prueba.

6.1.2.8. Octava prueba para la obtención de pasta

Sabiendo de las buenas propiedades del óxido de estaño en especial por su blancura, se añadió en la formulación indicada en la *tabla 6.20* para mejorar la apariencia de la pasta, obteniendo buenos resultados en cuanto al color y textura de la misma. Se tuvo algunos inconvenientes en cuanto a la formación de piezas ya que el tiempo de secado en el molde era muy corto lo que provocaba el cuarteo de las piezas. Haciendo una inspección luego de la quema se notó un gran cambio en cuanto a color; por lo que se lo consideró como una buena opción. Sin embargo se rechazó esta formulación debido en primer lugar a la no disponibilidad del óxido de estaño en gran cantidad y en segundo al costo elevado del mismo, lo que traería inconvenientes en caso de producción a gran escala. Su análisis de laboratorio se muestra en la *tabla 6.21*.

Tabla 6.20. Formulación de pasta PQ8

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	67
Feldespatos (Marcabelí)	8
Sílice	8
Talco	4
Óxido de Estaño	13
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.21. Análisis en Laboratorio de pasta PQ8

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	42.00	%
Densidad	1.63	g/cm ³
Retenidos	1.41	%
Tiempo de molienda	1.58	h
Viscosidad	12.59	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.9. Novena prueba para la obtención de pasta

En esta formulación (*Ver tabla 6.22*) se decidió probar otro componente con buenas propiedades, así se sustituyó el óxido de estaño por uno más económico como el óxido de zinc, con el fin de observar el color que toma la pasta con este compuesto, así se obtuvo un blanco aceptable y una buena consistencia de la pasta. Durante el

formado de la piezas no hubo dificultades y luego de la quema de bizcocho se observó que el color de las piezas presentaban una tonalidad blanca más no la que se deseaba obtener, es por eso que se decidió hacer una experiencia más modificando las composiciones aumentando el óxido de zinc.

Los resultados del análisis correspondiente a esta formulación se muestran en la *tabla 6.23*.

Tabla 6.22. Formulación de pasta PQ9

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	68.09
Feldespató (Marcabelí)	8.51
Sílice	8.51
Talco	4.26
Óxido de Zinc	10.64
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.23. Análisis en Laboratorio de pasta PQ9

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	42.05	%
Densidad	1.62	g/cm ³
Retenidos	1.38	%
Tiempo de molienda	1.58	h
Viscosidad	11.00	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.2.10. Décima prueba para la obtención de pasta

Mediante ésta formulación (*Ver tabla 6.24*) se obtuvo una pasta blanca con una buena consistencia, las piezas formadas presentaban buenas características y no presentaron defectos al desmoldarlas, se realizó una inspección luego de la quema de bizcocho y se observó un color blanco muy similar al que aprecia en las piezas de porcelana química que se comercializan.

Los parámetros que cumplió esta prueba se muestran en la *tabla 6.25*.

Tabla 6.24. Formulación de pasta PQ10

Materias Primas	% Formula
Caolín (Belén)	66.67
Feldespató (Marcabelí)	8.33
Sílice	8.33
Talco	4.17
Óxido de Zinc	12.50
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6. 25. Análisis en Laboratorio de pasta PQ10

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	40.80	%
Densidad	1.68	g/cm ³
Retenidos	1.49	%
Tiempo de molienda	1.58	h
Viscosidad	11.03	s

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.1.3. Resultados de Caracterización de las formulaciones preliminares

Tomando un lote de muestras en bizcocho de cada formulación se sometieron a ensayos de caracterización como Absorción, Contracción y Resistencia mecánica, cuyos resultados se expresan en una media obtenida a partir de seis especímenes de cada formulación que fueron quemadas a la temperatura de 1110°C, los resultados se expresan en la *tabla 6.26*.

Tabla 6. 26. Análisis en Laboratorio para pastas preliminares

Formulación	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN		
	Absorción (%)	Contracción total (%)	Resistencia Mecánica a la flexión (Kgf/cm ²)
PQ1	11.37	6.84	331.67
PQ2	12.65	9.01	289.58
PQ3	12.11	8.72	463.61
PQ4	7.11	10.57	963.40
PQ5	7.18	10.14	565.64
PQ6	10.22	8.72	726.81
PQ7	12.68	8.72	344.18
PQ8	17.59	11.09	281.29
PQ9	18.51	13.24	308.03
PQ10	20.72	11.26	358.59

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Mediante estos resultados obtenidos se procedió a hacer un análisis comparando estas propiedades medidas y los beneficios que podrían aportar a la pasta.

Con respecto a la absorción podemos mencionar que es un parámetro proporcional a la refractariedad, es decir, valores alto de absorción indicarían un porcentaje elevado de refractariedad y valores bajos indicarían que la pasta no puede ser sometida a elevadas temperaturas.

En cuanto a la contracción se realizó pruebas de contracción al secado y contracción a la quema (1110°C) con lo que permite calcular la contracción total para cada pasta formulada. La influencia de este parámetro hace que se tome en cuenta en la fabricación de las matrices y moldes, puesto que sabiendo la contracción de una pasta se podrá tomar las dimensiones respectivas al momento de elaborarlas.

Otro de los parámetros evaluados fue la resistencia mecánica a la flexión, la misma que indica la presión máxima a la que puede ser sometida una muestra. En cuanto a la que mejor resultado proporcionó fue la formulación PQ4 mostrada en la *tabla 6.26*, pero esta formulación fue rechazada por problemas presentados en el color del bizcocho; el mismo problema se presentó en las formulaciones PQ5 y PQ6 de las *tablas 6.14 y 6.16*, respectivamente.

6.1.4. Selección de la Formulación.

Habiendo analizado los resultados de cada pasta ***se escogió la prueba número 10 como una prueba definitiva en nuestra investigación***, debido a que por medio de una inspección visual (*Ver Control en formación de piezas por colado y Secado en las Especificaciones Técnicas del Protocolo de Control de Calidad*) mostró los mejores resultados con respecto a las demás formulaciones; en cuanto a propiedades (*Ver formulación PQ10 de la tabla 6.26*) ésta presenta un alto valor de absorción de agua por lo que dicha formulación podría ser sometida a temperaturas superiores a los 1200°C que es uno de los requerimientos de la porcelana química, sin embargo haciendo una comparación en cuanto a la contracción total muestra un valor elevado con respecto a las primeras formulaciones, pero es importante detallar que esto influiría únicamente en las dimensiones de la pieza, además las otras formulaciones a pesar de su ventaja de tener poca contracción, no mostraron buenas propiedades en cuanto al colado, resistencia en crudo y color de bizcocho. Así mismo, la formulación escogida mostró un buen valor en cuanto a la resistencia mecánica, no obstante

algunas pruebas mostraron valores superiores a la que se escogió, pero éstas presentaron un problema en cuanto a la absorción lo que impedía que difícilmente se trabaje con elevadas temperaturas.

Por tanto, para pruebas posteriores con aplicación de esmalte se dejó establecido que para obtener piezas en bizcocho éstas deben ser quemadas a una temperatura de 1110°C.

6.1.4.1. Ciclo de quema de bizcocho a 1110°C

Las piezas en bizcocho fueron quemadas en el horno de la planta de Cerart, mediante el ciclo de quema detallado en la *tabla 6.27* cuyos datos muestra una curva de cocción indicada en el *gráfico N°1*.

Tabla 6. 27. Programación del ciclo de quema de pasta a 1110°C

Horas relativas	Horas acumuladas	Temperatura (°C)
0	0	25
1,5	1H05	150
2,5	4H00	500
2	6H00	600
3	9H00	1110
2	11H00	1100

FUENTE: Planta CERART

GRÁFICO 1. Representación de la curva de cocción de bizcocho



FUENTE: Planta CERART

6.1.5. Optimización de Pasta de Porcelana Química.

Aprobada la formulación 10, se procedió a trabajar con esta composición para realizar los análisis respectivos y obtener las propiedades alcanzadas mediante esta formulación.

6.1.5.1. Prueba de Desfloculación

Esta prueba consistió en someter a la molienda la cantidad de material establecida en la formulación de la *tabla 6.24* cumpliendo con los estándares establecidos en el **CONTROL EN LA MOLIENDA** del Protocolo de Control de Calidad adjunto a la tesis, resaltando que ya se incluyó cierta cantidad de desfloculante de manera que permitió el trabajo del ensayo, de esta manera se obtuvieron los datos mostrados en la *tabla 6.28*.

Datos medidos en el ensayo:

- ✓ Cantidad de pasta para el ensayo: 2000g
- ✓ Desfloculante: Silicato de sodio líquido
- ✓ Peso inicial adicionado de desfloculante: 5.5g diluido al 50%
- ✓ Viscosidad inicial: 10.45 seg.
- ✓ Peso de gota de desfloculante: 0.05g

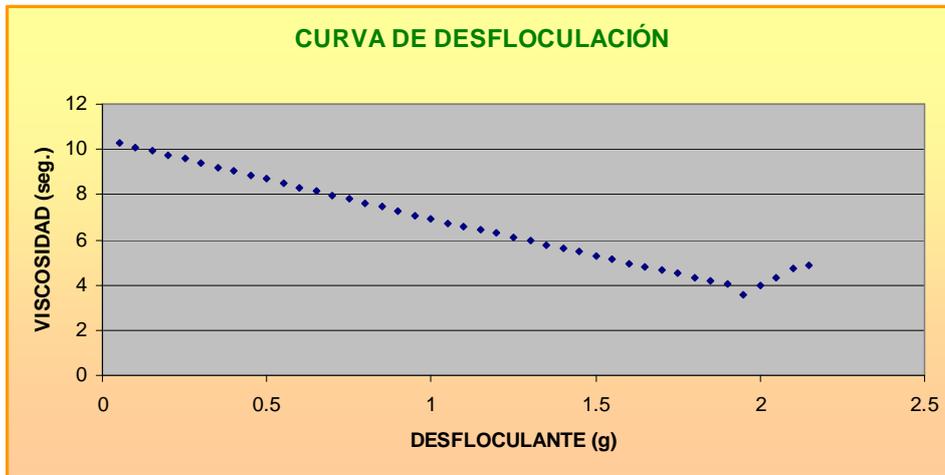
Tabla 6.28. Datos obtenidos para la prueba de desfloculación

Peso de desfloculante (g)	Viscosidad (seg.)
0.05	10.28
0.10	10.09
0.15	9.93
0.20	9.76
0.25	9.57
0.30	9.38
0.35	9.21
0.40	9.03
0.45	8.86
0.50	8.69
0.55	8.51
0.60	8.33
0.65	8.15
0.70	7.98
0.75	7.82
0.80	7.64
0.85	7.46
0.90	7.28
0.95	7.09
1.00	6.93
1.05	6.75
1.10	6.61
1.15	6.46
1.20	6.29
1.25	6.11
1.30	5.95
1.35	5.79
1.40	5.62
1.45	5.46
1.50	5.28
1.55	5.13
1.60	4.96
1.65	4.81
1.70	4.67
1.75	4.51
1.80	4.35
1.85	4.18
1.90	4.06
1.95	3.56
2.00	3.95
2.05	4.35
2.10	4.72
2.15	4.87

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

GRÁFICO 2. Representación de la curva de desfloculación para pasta porcelana química.



FUENTE: Investigación experimental
ELABORACIÓN: Los autores

Tal como se muestra la distribución de datos obtenidos en el *Gráfico 2*, la cantidad óptima de desfloculante es 1.95g, puesto que a partir de esta cantidad el desfloculante utilizado hace que la pasta empiece a elevar su viscosidad. A partir de esto se considera que la carga óptima de desfloculante sería de 7.45g, tomando en cuenta la cantidad inicial que se adicionó en la molienda, por lo tanto el porcentaje óptimo de desfloculante por cada 2000g de pasta es del 0.37%.

6.1.5.2. Temperatura alcanzada para la pasta porcelana química elaborada.

Por falta de un horno que queme a elevadas temperaturas, esta prueba se la realizó en los laboratorios del CESEMIN de la Universidad de Cuenca. Partiendo de un criterio emitido de parte de la Directora de este Centro manifestó probar con una temperatura de 1300°C; debido a que el bizcocho a 1110°C tenía un porcentaje de absorción de alrededor del 20%. Realizada la quema a 1300°C se pudo constatar que el bizcocho se encontraba en perfecto estado, sin embargo ya no se podía seguir sometiendo a una temperatura mas elevada, debido a que realizado su ensayo de absorción la muestra obtuvo un porcentaje mínimo de 0.23%.

Como sabemos durante la segunda cocción de una porcelana los valores de temperatura oscilan entre 1175 y 1450°C, consideramos que nuestra porcelana una vez vitrificada alcanzaría una temperatura que estaría dentro de los rangos permitidos, clasificando nuestra pasta como una porcelana.

Determinada la temperatura máxima de quema, se dejó establecido el ciclo de quema a 1300°C que se muestra en la *tabla 6.29* y su curva de cocción en el *Gráfico 3*.

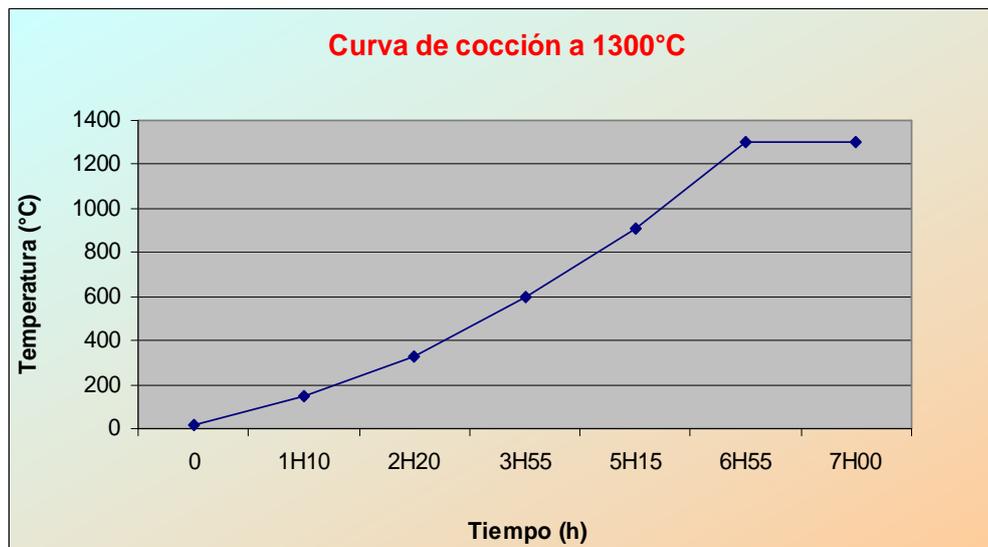
Tabla 6.29. Programación del ciclo de quema de pasta a 1300°C

Horas relativas	Horas acumuladas	Temperatura (°C)
0	0	20
1.10	1H10	150
1.10	2H20	329
1.35	3H55	600
1.20	5H15	912
1.40	6H55	1300
0.05	7H00	1300

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

GRÁFICO 3. Representación de la curva de cocción de pasta porcelana química.



FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

6.1.5.3. Caracterización de bizcocho a 1300°C

Para la realización de estos ensayos se utilizó las instalaciones del laboratorio de CERART y de la UCG de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la *tabla 6.30*.

Tabla 6.30. Caracterización de bizcocho a 1300°C

Parámetro	Valor	Unidad
Absorción	0.23	%
Espacio Poroso	0.75	%
Densidad Real	3.34	g/cm ³
Contracción total	17.40	%
Resistencia Mecánica a la flexión	1135.92	Kgf/cm ²

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

Mediante un análisis de estos resultados se pudo determinar las propiedades máximas que la pasta adquiere, siendo este un punto de referencia para la fabricación de un esmalte óptimo que llegue a la misma temperatura de cocción.

6.1.5.4. Prueba de Plasticidad

Esta prueba fue realizada en los laboratorios del CESEMIN de la Universidad de Cuenca, con el fin de determinar la plasticidad alcanzada con la formulación definitiva. Los datos se muestran en la *tabla 6.31* (*Ver informe del CESEMIN en el Anexo C*).

Tabla 6.31. Prueba de Plasticidad de pasta Porcelana Química

Parámetro	Valor	Unidad
Límite líquido	22.38	%
Límite plástico	20.78	%
Índice de plasticidad	1.69	%

FUENTE: Laboratorio CESEMIN

Haciendo un análisis en cuanto al valor obtenido se considera aceptable, debido a que en nuestro caso las piezas elaboradas se probaron únicamente por colado y durante el conformado de las piezas no hubo dificultades.

6.2. PRUEBAS PARA FORMULACIÓN DE ESMALTE

6.2.1 Pruebas Preliminares

La elaboración de cada una de las formulaciones se llevó a cabo en los laboratorios de la planta de cerámica CERART, sin embargo, los ensayos de aplicación y quema fueron realizados en los laboratorios del CESEMIN.

Para realizar las formulaciones se partió de la constitución de un esmalte base conformado por 90% de frita refractaria y 10% de caolín (belén); esta frita denominada MGT 0008, es adquirida de la planta de Cerámica Artesa de la Ciudad Cuenca cuya temperatura de quema es de 1150°C y un coeficiente de dilatación térmica de $6.96 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, prueba realizada en el CESEMIN (*Ver informe en Anexo D*).

Se realizaron cuatro pruebas preliminares recalcando que se realizó un sola molienda unificando la composición del esmalte base y el material que se fue adicionando en cada prueba, además incluyeron la adición de 0.1% de C.M.C. por cada 100g material húmedo que entra al molino.

Las materias primas utilizadas para la elaboración de esmalte son las materias primas purificadas que se utilizaron para la pasta, debe tomarse en cuenta que las formulaciones que se muestran a continuación están ajustadas al 100% de la carga total del molino, y su descarga se realizó cumpliendo los requisitos de porcentaje de retenidos reales que se da en un rango de 0.6 a 0.9%.

A continuación se muestra las composiciones y los análisis de laboratorio que se hicieron para cada una de las pruebas.

6.2.1.1. Primera Prueba

Se añadió al esmalte base un 10% de caolín (belén). La formulación se muestra en la *tabla 6.32* y su respectivo análisis de laboratorio en la *tabla 6.33*:

Tabla 6.32. Formulación de esmalte EPQ1

Materia Prima	% Fórmula
Frita MGT 0008	81.82
Caolín (Belén)	18.18
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.33. Análisis de laboratorio para esmalte EPQ1

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	40.70	%
Densidad	1.57	g/cm ³
Retenidos	0.88	%
Tiempo de molienda	2.00	h

FUENTE: Investigación experimental**ELABORACIÓN:** Los autores

6.2.1.2. Segunda Prueba

A esta segunda formulación (Ver tabla 6.34) se añadió 10% de caolín (belén) y un 5% de sílice con el fin de aumentar más la refractariedad del esmalte. Los parámetros medidos se muestran en la tabla 6.35:

Tabla 6.34. Formulación de esmalte EPQ2

Materia Prima	% Fórmula
Frita MGT 0008	78.26
Caolín (Belén)	17.39
Sílice	4.35
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental**ELABORACIÓN:** Los autores**Tabla 6.35.** Análisis de Laboratorio para esmalte EPQ2

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	40.70	%
Densidad	1.58	g/cm ³
Retenidos	0.71	%
Tiempo de molienda	2.00	h

FUENTE: Investigación experimental**ELABORACIÓN:** Los autores

6.2.1.3. Tercera Prueba

En esta formulación (Ver tabla 6.36) se añadió un 10% de caolín (belén), 10% de sílice y 5% de chamota. Su análisis de laboratorio se muestra en la tabla 6.37:

Tabla 6.36. Formulación de esmalte EPQ3

Materia Prima	% Fórmula
Frita MGT 0008	72.00
Caolín (Belén)	16.00
Sílice	8.00
Chamota	4.00
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental**ELABORACIÓN:** Los autores

Tabla 6.37. Análisis de laboratorio para esmalte EPQ3

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	41.40	%
Densidad	1.57	g/cm ³
Retenidos	0.64	%
Tiempo de molienda	1.35	h

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.2.1.4. Cuarta Prueba

Se modificó la composición añadiendo un 20% de caolín (belén), 5% de sílice y 5% de chamota. La formulación se muestra en la tabla 6.38 y análisis de laboratorio en la tabla 6.39:

Tabla 6.38. Formulación de esmalte EPQ4

Materia Prima	% Fórmula
Frita MGT 0008	69.23
Caolín (Belén)	23.08
Sílice	3.85
Chamota	3.85
Total	100.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Tabla 6.39. Análisis de laboratorio para esmalte EPQ4

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	41.20	%
Densidad	1.57	g/cm ³
Retenidos	0.68	%
Tiempo de molienda	1.05	h

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.2.2. Ciclo de quema para las pruebas de esmalte

La aplicación de esmalte fue por inmersión, y las muestras se quemaron a una temperatura de 1200°C, en los laboratorios del CESEMIN de la Universidad de Cuenca.

Para el desarrollo de esta prueba se estableció el ciclo de quema detallado en la *tabla 6.40* y la representación de la curva de cocción en el *Gráfico 4*.

Tabla 6.40. Programación del ciclo de quema de Esmalte

Horas relativas	Horas acumuladas	Temperatura (°C)
0	0	20
1.00	1H00	174
1.20	2H20	350
1.20	3H40	600
1.30	5H10	900
1.20	6H30	1200
0.05	6H35	1200

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

GRÁFICO 4. Representación de la curva de cocción de Esmalte



FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6.2.3. Resultados de las pruebas de esmalte.

Con el fin de conseguir un esmalte que alcance con la temperatura a la que llega nuestra pasta (1300°C) todas las prueba fueron quemadas inicialmente a una temperatura de 1200°C por sugerencia de la directora del CESEMIN con el fin de ir probando cual de los esmaltes elaborados era el más apto para alcanzar la temperatura de la pasta. Salidas las pruebas del horno se comprobó el perfecto estado físico de las cuatro pruebas, sin embargo mediante un análisis visual las muestras mostraban los siguientes resultados detallados en la *tabla 6.41*:

Tabla 6.41. Inspección visual en pruebas de Esmalte

N° de prueba	Resultados de quema a 1200°C
1	Coloración oscura, no presenta brillo; no puede ser sometida a más temperatura, no presenta craquelado.
2	Coloración amarillenta, no presenta brillo, lo que nos indica que se encuentra sobre la temperatura máxima a la que puede someterse, no presenta craquelado.
3	Coloración translúcida, bajo brillo, sin embargo se encuentra sobre su temperatura óptima, no presenta craquelado.
4	Coloración verdosa y un aspecto lechoso lo que nos indica que puede ser sometida a unos 20°C mas aproximadamente, no presenta craquelado.

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

Habiendo analizado las pruebas preliminares realizadas junto con nuestra Directora de tesis, se dio por aprobada la tercera formulación (*Ver tabla 6.36*) ya que fue la que mejor resultados mostró para trabajar a la temperatura de 1200°C; por tanto, se decidió no seguir probando nuevas formulaciones que nos ayuden a llegar a la temperatura de 1300°C, ya que esto conlleva realizar un buen diseño experimental que vaya acorde con las características de la pasta, lo cual implica mucho tiempo; no obstante se dejó como base de investigación estos resultados para futuros proyectos.

6.2.3.1. Pruebas de calce entre pasta y esmalte aprobado.

El proceso de cocción del producto consistió en una biquema, las piezas en crudo fueron sometidas a una quema de bizcocho de 1110°C en el horno de la planta de CERART. La aplicación de esmalte y quema de vidrio se realizaron en el laboratorio del CESEMIN a una temperatura de 1200°C.

6.2.3.1.1. Caracterización de pasta quemada a 1200°C

Con el fin de observar las propiedades que la pasta adquiere a 1200°C en bizcocho se realizó una caracterización de seis especímenes quemados primeramente a 1110°C y luego a 1200°C sin esmaltar, los resultados que se muestran en la *tabla 6.42* son valores promedios de las muestras descritas.

Tabla 6.42 Caracterización de bizcocho con quema 1110-1200°C

Parámetro	Valor	Unidad
Absorción	12.20	%
Espacio Poroso	25.55	%
Densidad Real	2.81	g/cm ³
Contracción total	11.75	%
Resistencia Mecánica a la flexión	668.13	Kgf/cm ²

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

6.2.3.1.2. Coeficiente de dilatación de la pasta con quema de 1110 - 1200°C.

Esta prueba fue realizada en los laboratorios del CESEMIN, los resultados se muestran en la *tabla 6.43*. (Ver informe del CESEMIN en el Anexo E)

Tabla 6.43. Dilatación térmica de la pasta 1100-1200 °C

COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA: α		
20 a 325 °C	$9.902 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	0.3020%
20 a 600 °C	$9.547 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	0.5537%

FUENTE: Laboratorio CESEMIN

6.2.3.1.3. Coeficiente de dilatación del esmalte a 1200°C

Esta prueba fue realizada en los laboratorios del CESEMIN, los resultados se muestran en la *tabla 6.44*. (Ver informe del CESEMIN en el Anexo F)

Tabla 6.44. Dilatación térmica del esmalte a 1200 °C

COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA: α		
20 a 325 °C	$6.033 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	0.1840%
20 a 600 °C	$6.30 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	0.3657%

FUENTE: Laboratorio CESEMIN

6.2.3.2. Resultados de pruebas de calce entre pasta y esmalte.

Analizando los coeficientes de dilatación térmica tanto de la pasta como el esmalte mostrados en las *tablas 6.43 y 6.44*, se puede hacer una estimación que no se podrá calzar el esmalte en la pasta, ya que la diferencia entre los dos es elevada. Esto se pudo comprobar una vez realizada la quema de vidrio ya que obtenidas las piezas al momento de descargarlas del horno éstas se fragmentaron por un efecto de escamado.

6.2.3.2.1. Posibles formulaciones para la obtención de un esmalte con mayor coeficiente de dilatación.

Habiendo tenido como base de estudio la tercera prueba de esmalte, se dejan expuestas posibles formulaciones (*Ver tabla 6.45 y 6.46*), de manera que las nuevas composiciones ayudarían a obtener un elevado coeficiente de dilatación que se aproxime al de la pasta formulada.

Tabla 6.45. Formulación empírica 1 de esmalte PQ

Materia Prima	% Fórmula
Frita MGT 0008	73.91
Caolín (Belén)	10.43
Sílice	6.96
Chamota	4.35
Óxido de zinc	4.35
Total	100.00

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

Tabla 6.46. Formulación empírica 2 de esmalte PQ

Materia Prima	% Fórmula
Frita MGT 0008	70.87
Caolín (Belén)	13.39
Sílice	5.51
Chamota	3.94
Óxido de zinc	6.30
Total	100.00

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

6.3. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE LA PASTA DE PORCELANA QUÍMICA ELABORADA CON UNA PORCELANA DE REFERENCIA (PORCELANA DE HUESOS).

El análisis consistió en comparar mediante pruebas t de Student el porcentaje de absorción de agua (Ver tabla 6.47), contracción total (Ver tabla 6.48) y resistencia mecánica (Ver tabla 6.49) que adquirieron las pastas tanto de porcelana química formulada como la porcelana de referencia (porcelana de huesos), quemadas a la temperatura de 1300°C.

Para realizar este análisis se utilizaron seis especímenes de cada pasta y su quema fue realizada en los laboratorios del CESEMIN.

6.3.1. Prueba t para comparar el porcentaje de absorción entre las dos pastas

Ho = La composición de pasta de porcelana química formulada no tiene un porcentaje de absorción mayor con respecto a la porcelana de referencia.

H1 = La composición de pasta de porcelana química formulada tiene un porcentaje de absorción mayor con respecto a la porcelana de referencia.

Tabla 6.47. Absorciones por colado.

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)		
Muestra	PORCELANA QUÍMICA	PORCELANA DE HUESOS
1	0.22	0.16
2	0.25	0.14
3	0.22	0.13
4	0.24	0.16
5	0.23	0.15
6	0.22	0.14
TOTAL	1.37	0.88
MEDIA	0.23	0.15
DESV EST.	0.0126	0.0111

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

t calculado= 15.966

$\alpha = 0.05$ (nivel de significancia)

$gl = 5$ (grados de libertad)

$t_{0.05,5} = 2.015$ (t crítico)

$t_{\text{calculado}} > t_{\text{crítico}}$

Según el análisis estadístico realizado se tiene que $15.966 < 2.015$ por lo tanto se debe rechazar la hipótesis nula concluyendo que la pasta formulada tiene un porcentaje de absorción mayor al de la porcelana de referencia (**Ver cálculos en anexo B**).

6.3.2. Prueba t para comparar el porcentaje de contracción total entre las dos pastas.

Ho = La composición de pasta de porcelana química formulada no presenta un porcentaje mayor de contracción total con respecto a la porcelana de referencia.

H1 = La composición de pasta de porcelana química formulada presenta un porcentaje mayor de contracción total con respecto a la porcelana de referencia.

Tabla 6.48. Porcentaje de contracción total por colado.

PORCENTAJE DE CONTRACCIÓN TOTAL (%)		
Muestra	PORCELANA QUÍMICA	PORCELANA DE HUESOS
1	16.86	18.58
2	17.36	18.08
3	18.55	18.23
4	18.29	18.59
5	17.01	18.28
6	16.34	18.52
TOTAL	104.41	110.29
MEDIA	17.40	18.38
DESV EST.	0.8576	0.2135

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

$t_{\text{calculado}} = -2.795$

$\alpha = 0.05$ (nivel de significancia)

gl = 5 (grados de libertad)

$$t_{0.05,5} = 2.015 \text{ (t crítico)}$$

$$t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$$

Revisado el análisis estadístico realizado se tiene que $-2.795 < 2.015$ por lo tanto se debe aceptar la hipótesis nula concluyendo que el porcentaje de contracción de la pasta de porcelana química es menor que el de la porcelana de referencia. **(Ver forma de cálculos en anexo B).**

6.3.3. Prueba t para comparar la resistencia mecánica a la flexión entre las dos pastas.

H₀ = La composición de pasta de porcelana química formulada no presenta un porcentaje mayor de resistencia mecánica con respecto a la porcelana de referencia.

H₁ = La composición de pasta de porcelana química formulada presenta un porcentaje mayor de resistencia mecánica con respecto a la porcelana de referencia.

Tabla 6.49. Resistencia Mecánica a la flexión por colado.

RESISTENCIA MECÁNICA A LA FLEXIÓN (kgf/cm ²)		
Muestra	PORCELANA QUÍMICA	PORCELANA DE HUESOS
1	1136.38	1196.45
2	1137.29	1194.13
3	1134.11	1191.26
4	1138.43	1193.82
5	1133.49	1195.63
6	1135.81	1193.78
TOTAL	6815.51	7165.07
MEDIA	1135.92	1194.18
DESV EST.	1.8752	1.7930

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

$$t_{\text{calculado}} = -76.103$$

$\alpha = 0.05$ (nivel de significancia)

gl = 5 (grados de libertad)

$$t_{0.05,5} = 2.015 \text{ (t crítico)}$$

$$t_{\text{calculado}} < t_{\text{crítico}}$$

Revisado el análisis estadístico realizado se tiene que $-76.103 < 2.015$ por lo tanto se debe aceptar la hipótesis nula ya que el valor de la resistencia mecánica a la flexión de la porcelana de referencia es mayor al que presenta la porcelana química formulada **(Ver forma de cálculos en Anexo B)**.

6.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA ELABORAR PASTA DE PORCELANA QUÍMICA.

En la *tabla 6.50* se muestra el desglose de los rubros para la elaboración de piezas de porcelana química.

Tabla 6.50. Presupuesto de costos de Producción

DETALLE	COSTO(\$)
Costo Total de Materias Primas	5.61
Total costos de matricería	1.94
Total costos de Otros materiales	67.67
Total costos de Consumo eléctrico	28.69
Total costos de Consumo de agua	2.35
Total costos de Mano de Obra	40.42
Total de costos de control de calidad	360.00
TOTAL DE LA PRODUCCIÓN	506.69

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

El detalle de los costos se muestra en el Anexo G, recalcando que el presupuesto detallado se realizó sobre la base de una sola molienda de producción con la que se obtiene 2.4 Kg de pasta de los cuales se pueden obtener un promedio de 16 crisoles y 9 capsulas.

Por lo tanto los costos por Kg de pasta elaborada y por pieza terminada se encuentran en la *tabla 6.51*:

Tabla 6.51. Resumen de Costos de la Primera Producción

Costo en la Primera Producción	
COSTO	PRECIO EN \$
Costo total	506.69
Costo / Kg pasta	211.12
Costo / pieza	20.27

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

Asumiendo que a partir de una segunda producción los costos con respecto a control de calidad quedarían suprimidos debido a que se asume que los productos obtenidos posteriormente a partir de la primera elaboración tendrían las mismas características.

Así mismo los materiales utilizados en la purificación (imanes y tinajas) quedarían como material permanente para la producción.

Por tanto los costos quedarían establecidos en la *tabla 6.52*:

Tabla 6.52. Resumen de Costos a partir de una Segunda Producción

Costos a partir de la segunda producción	
COSTO	PRECIO EN \$
Costo total	90.69
Costo / Kg pasta	37.79
Costo / pieza	3.63

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

1. Del tratamiento de materias primas, se comprobó que el Caolín (Belén) utilizado tiene una gran contaminación con un alto porcentaje de impurezas tanto orgánicas (raíces, hojas, etc.) como inorgánicas; en cuanto a la Sílice y Feldespato (Marcabelí), se comprobó que no son materias primas altamente contaminadas, ya que el porcentaje de pérdidas por su purificación no exceden del 5% en comparación con el Caolín que es del 30%.
2. En cuanto a la humedad de materias primas, se concluye que el caolín es un material muy higroscópico ya que presenta un valor alto de humedad de 8.6% con respecto al cuarzo (4.4%) y feldespato (3.2%); ya que el caolín por ser una arcilla absorbe con facilidad la humedad del ambiente.
3. En cuanto a la granulometría de las materias primas, realizada a malla 325 se obtuvo que la Sílice presentó un elevado porcentaje de retenido real, de 29.29%; mientras que el Feldespato (Marcabelí) dio un valor de 24.21% y el Caolín (Belén) un 9.96%; por tanto los materiales que son sometidos a una molienda previa son la Sílice y Feldespato (Marcabelí) con tiempos de molienda de 4 y 3 horas respectivamente; en cuanto al Caolín (Belén) no se lo somete a molienda por ser un material blando.
4. La composición final de la pasta de porcelana química formulada es de: 66.67 % de Caolín (Belén), 8.33% de Feldespato (Marcabelí), 8.33% de Sílice, 4.17% de talco y 12.15% de óxido de zinc. El alto porcentaje de Caolín (Belén) aportó propiedades plásticas, y conjuntamente con la sílice ayudaron a la refractariedad, el Feldespato (Marcabelí) utilizado facilitó la fundencia de la pasta; así mismo el talco contribuyó a que no se cuarteen las piezas en el momento del secado luego de que fueron coladas, debido a que el óxido de magnesio y óxido de sílice de su composición hacen que la pieza resista mejor la contracción que se produce en el momento del secado de la pieza. Por su parte, el óxido de zinc a más de ser utilizado como pigmento para mejorar la blancura de la pasta, contribuyó a mejorar la refractariedad de la misma. Así también la carga de aditivos para la formulación descrita quedó establecida por 0.50% de CMC (Carboximetilcelulosa) al 2.5%,

0.15% de desfloculante (silicato de sodio líquido) diluido al 50% y 0.21% de metasilicato de sodio.

5. Los parámetros para la molienda de la pasta de porcelana química aprobada quedan establecidos de la siguiente manera: tiempo de molienda 1.58 h; densidad (1.67-1.69 g/cm³); retenidos reales a malla 325 (1.3 a 1.6%); humedad (35 a 40%).
6. El tiempo de maduración aplicado de 20 días en adelante mejoró las propiedades de la pasta en cuanto a textura y propiedades de colado (buena fluidez y buena estabilidad).
7. Los parámetros de colado quedaron establecidos de la siguiente manera: humedad (39 - 42%); densidad (1.66 - 1.68 g/cm³); viscosidad (7 – 10s) y tixotropía (1.2 a 1.5). De esta manera se estableció que: los crisoles tienen un tiempo de colado que puede ir de 3 a 5 minutos alcanzando un espesor de 2.5mm y para capsulas un tiempo que va de 6 a 8 minutos alcanzando un espesor de 3.5mm.
8. El tiempo óptimo de secado para las piezas es de 7 días a temperatura ambiente. Si se utilizara un secadero adecuado este tiempo se reduciría.
9. Se pudo obtener una pasta refractaria, cuya temperatura máxima de quema es de 1300°C, puesto que a esta temperatura las piezas no sufrieron ningún daño, de la misma manera el porcentaje de absorción que presentaron las piezas luego de la quema fue de 0.23%. Si se utilizaba una temperatura mayor se corría el riesgo de que las piezas salgan torcidas.
10. La pasta elaborada no presentó diferencia significativa en comparación con la porcelana de referencia, puesto que en cuanto al porcentaje de absorción de agua la porcelana química tiene 0.23% y la porcelana de referencia de 0.15%.
11. En cuanto al porcentaje de contracción total la pasta formulada tuvo un valor de 17.40% en comparación con la porcelana de referencia de 18.38%, por tanto la influencia de los componentes que la conforman no ocasionaron una exagerada contracción que implicaría mayor gasto de pasta y yeso para los moldes.
12. La resistencia mecánica aplicada a la pasta de porcelana química, presentó un valor de 1135.98 Kg/cm² no muy distante con respecto a la porcelana de

referencia cuyo valor resultante es de 1194.18 Kgf/cm²; sin embargo el valor obtenido reveló que las piezas pueden ser sometida a grandes cargas de presión.

13. Mediante la presente investigación se logró establecer un Protocolo de Control de Calidad que se encuentra como documentación adjunta al presente trabajo, el cual contiene las instrucciones de trabajo y las especificaciones técnicas correspondientes a cada etapa de la fabricación de la pasta de porcelana química, los mismos que servirán como guía para la puesta en marcha de esta línea de producción de piezas.
14. Se obtuvo un esmalte refractario cuya temperatura de quema fue de 1200°C, conformado por la siguiente composición: 72% frita MGT 0008, 16% de Belén, 8% de sílice y 4 % de chamota. Sin embargo, no se pudo obtener piezas de porcelana vidriadas debido a que los coeficientes de dilatación tanto de pasta ($9.547 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) como de esmalte ($6.305 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) a la temperatura de 1200°C se encontraban demasiado distantes lo que provocó un efecto de escamado en el vidriado de las piezas obtenidas.
15. Finalmente al realizar una evaluación económica conforme a cada etapa del proceso de producción se obtuvo que el costo por pieza vidriada en promedio es de \$20.27 tomando en cuenta los costos de inversión inicial; pero los costos a partir de una segunda producción quedarían estimados en \$ 3.63 por pieza. Por lo que garantizamos una buena rentabilidad del proyecto si se desea implementar en Cerart, ya que en el mercado una cápsula de porcelana bordea por los \$ 25, mientras que los crisoles tienen un costo de alrededor de \$ 10.

7.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el Caolín (Belén) por ser una materia prima altamente contaminada se someta a varias lavadas así como también prolongar el tiempo de purificación con los imanes, teniendo en cuenta que estos deben ser lavados continuamente para ir desechando las impurezas adheridas a estos.
2. Para la purificación de la Sílice y Feldespato (Marcabelí) se necesita que luego de su molienda se realice un lavado para la eliminación de impurezas livianas que no se sedimentan.
3. Durante el tiempo de permanencia de la Sílice y Feldespato (Marcabelí) en los imanes, se debe adicionar el 1% de desfloculante del total de materia prima para evitar la sedimentación de estos materiales.
4. Las materias primas tratadas con los imanes deben previamente ser secadas a una temperatura de 60°C y tamizadas por malla 100.
5. Las materias primas deben ser almacenadas en un lugar libre de contaminación una vez que hayan estado cierto tiempo a la intemperie, ya que pueden mezclarse con otras impurezas y disminuir así las propiedades de cada material,
6. En caso de que los moldes se encuentren demasiado secos, se debe pasar sobre la superficie de éstos una esponja húmeda con el fin de que al momento del colado de piezas no se produzca una absorción brusca del agua que contiene la pasta, pues esto provocaría trizaduras en la pieza formada.
7. No utilizar los moldes más de cuatro veces consecutivas, ya que la demasiada humedad contenida en el molde no permite que las piezas se formen.

8. Se recomienda el desarrollo de un nuevo proyecto de investigación dedicado a la optimización del calce entre la pasta y esmalte a la temperatura de 1200°C de manera que se consiga que los coeficientes tanto de pasta como de esmalte se aproximen, por lo que se sugiere disminuir cierto porcentaje de refractarios en la composición del esmalte, o también se puede incluir en su composición óxidos con elevado coeficiente de dilatación como por ejemplo ZnO.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

BRUGUERA J. (1986). Manual Práctico de Cerámica; Ediciones Omega S.A.: Barcelona-España.

KIRK R., OTHMER D. (1962). Enciclopedia de la Tecnología Química; Unión Tipográfica Hispanoamérica: México; Tomo 4.

NORTON F. (1983). Cerámica Fina, Tecnología y Aplicación, segunda edición; Ediciones Omega S.A: Barcelona-España.

RADO P. (1990). Introducción a la Tecnología de la Cerámica; Ediciones Omega S.A. Barcelona-España.

RODES D. (1990). Cerámica: Arcilla y Vidriado para el Ceramista, primera edición; Ediciones CEAC: Barcelona-España.

SINGER F., SINGER S. (1979). Enciclopedia de la Química Industrial; Principios Generales de la Fabricación de Cerámica; Urmo S.A, Ediciones: España; Tomo 9.

FUENTES ELECTRÓNICAS:

CERAMICA ARTÍSTICA Y ACUARELA: Arcillas para porcelana, tipos de porcelana [online].

URL:<http://www.xtec.net/~aromero8/ceramica/pocelana.htm>.

J.L VICENTIZ, S.L.; Suministros Cerámicos [online].

URL:http://www.vicentiz.com/Acrobat/info_parcial/esmaltes/esmaltes.pdf

SILICATOS Y DERIVADOS S.A.: Silicatos de sodio y líquidos/sólidos [online].

URL:http://www.quiminet.com.mx/ar9/ar_%25C0%25B4%25EA%253A%255B%2527%25A3%25F4.htm.

QUIMINET: Carboximetilcelusosa Alta Viscosidad [online].

URL:<http://www.quiminet.com.mx/pr2/Carboximetilcelulosa%2Balta%2Bviscosidad.htm#m-noticia>.

ANEXOS

A. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECANICA A LA FLEXIÓN

Los resultados mostrados corresponden a uno de los seis especímenes que fueron quemadas a la temperatura de 1300°C, y sometidos a esta prueba.

La técnica se encuentra detallada en el protocolo de calidad, adjunto a esta tesis.

Fórmula:

$$Gf = \frac{3 F \times L}{2 b \times h^2} \times \frac{L}{2}$$

Donde:

F = Fuerza ejercida (Kgf/cm)

b = ancho de la muestra (cm)

h = Espesor de la muestra (cm)

L = Longitud entre apoyos (cm)

y,

$$F = C \times K$$

Donde:

C = Carga ejercida (Kgf/cm)

K = Constante del anillo

(igual a 0.8517)

Desarrollo:

Datos:

b = 5.07 Cm

h = 0.67 Cm

L = 6.9 Cm

K = 0.8517

Tabla A.1. Datos obtenidos por la máquina Versa Testar

Deformación (pulg.)	Carga (Kgf/cm)
5	6
10	18
15	34
20	45
25	58
30	85

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

CÁLCULOS:

Tabla A.2. Cálculos para la determinación de la Resistencia Mecánica

Deformación (pulg.)	Carga (kgf/cm)	P (Kgf/cm ²)
5	6	5.1102
10	18	15.3306
15	34	28.9578
20	45	38.3265
25	58	49.3986
30	85	72.3945

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

GRÁFICO A.1. Gráfica de la presión versus la deformación



FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACION: EL Autor

Por lo tanto, la resistencia mecánica a la flexión obtenida es:

$$Gf = \frac{3}{2} \frac{F \times L}{b \times h^2} \times \frac{L}{2}$$

$$Gf = \frac{3}{2} \frac{72.3945 \text{ Kgf} / \text{cm} \times 6.9 \text{ cm}}{5.07 \text{ cm} \times (0.67 \text{ cm})^2} \times \frac{6.9 \text{ cm}}{2}$$

$$Gf = 1135.81 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$

B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PRUEBA T PARA COMPARAR LAS PROPIEDADES DE LA PASTA DE PORCELANA QUÍMICA ELABORADA CON UN PORCELANA DE REFERENCIA (PORCELANA DE HUESOS).

A continuación se presenta el detalle del análisis estadístico para una de las pruebas analizadas como es el porcentaje de absorción, donde se utilizaron seis muestras quemadas a la temperatura de 1300°C; cabe mencionar que las demás hipótesis siguieron el mismo proceso.

- ✓ Prueba t para comparar el porcentaje de absorción entre las dos pastas.

Tabla B.1. Porcentaje de absorción por colado.

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		
Muestra	PQ	PH
1	0.22	0.16
2	0.25	0.14
3	0.22	0.13
4	0.24	0.16
5	0.23	0.15
6	0.22	0.14

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

Desarrollo:

Tabla B.2. Cálculos para el análisis T

Muestra	PORCELANA QUÍMICA			PORCELANA DE HUESOS		
	X	$X - X_{mediaPQ}$	$(X - X_{mediaPQ})^2$	X	$X - X_{mediaPH}$	$(X - X_{mediaPH})^2$
1	0.22	-0.01	4.77163E-05	0.16	0.010260591	0.00010528
2	0.25	0.02	0.000371043	0.14	-0.003258939	1.06207E-05
3	0.22	-0.01	0.000105644	0.13	-0.016898058	0.000285544
4	0.24	0.01	0.00016773	0.16	0.011517353	0.000132649
5	0.23	0.00	2.2378E-06	0.15	0.007600806	5.77722E-05
6	0.22	-0.01	0.00010289	0.14	-0.004854955	2.35706E-05
TOTAL	1.37		0.00079726	0.88		0.000615437
MEDIA	0.23			0.15		
DESV EST.	0.0126			0.0111		

FUENTE: Investigación Experimental

ELABORACIÓN: Los Autores

Datos:

$$n = 6$$

- ✓ Cálculo de la media (X)

$$X_{media\ PQ} = \frac{\sum_{i=1}^a x}{n_1}$$

$$X_{media\ PH} = \frac{\sum_{i=1}^a x}{n_2}$$

$$X_{media\ PQ} = \frac{1.37}{6}$$

$$X_{media\ PH} = \frac{0.88}{6}$$

$$X_{media\ PQ} = 0.23$$

$$X_{media\ PH} = 0.15$$

- ✓ Cálculo de la desviación estándar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^a (X - X_{media})^2}{n-1}}$$

$$S_{PQ} = \sqrt{\frac{4.77 \times 10^{-5} + 0.00037 + 0.000105 + 0.00016 + 2.23 \times 10^{-6} + 0.000102}{5-1}}$$

$$S_{PQ} = 0.0126$$

- ✓ Cálculo del estadístico de prueba (t)

$$t = \frac{X_{PQ} - \mu_{PH}}{\frac{S_{PQ}}{\sqrt{n}}}$$

$$t = \frac{0.23 - 0.15}{\frac{0.0126}{\sqrt{6}}}$$

$$t = 15.966$$

- ✓ Determinación de t crítico

$$\alpha = 0.05 \text{ (Con 95\% de confianza)}$$

$$t_{0.05;5} = 2.015$$

$$gl = n - 1 = 5$$

- ✓ Criterio de aceptación o rechazo

$$t_{\text{calculado}} < t_{0.05,n-1} \text{ Se acepta } H_0$$

$$t_{\text{calculado}} > t_{0.05,n-1} \text{ Se rechaza } H_0$$

C. RESULTADO DE LA PRUEBA DE PLASTICIDAD PARA PASTA PORCELANA QUÍMICA.



C E S E M I N
Centro de Servicios y Análisis de Minerales
Metálicos y No Metálicos
UNIVERSIDAD DE CUENCA



ANÁLISIS TÉCNICO CERÁMICOS
DETERMINACIÓN DE LA PLASTICIDAD

CLIENTE: SR. DANIEL INGA
MATERIAL: PASTA
Fecha: 2009-05-11
METODO DE ENSAYO: NORMA:ASTM D 4318-95 (Casa Grande)

RESULTADOS	
LIMITE LIQUIDO	22,38
LIMITE PLASTICO	20,78
INDICE DE PLASTICIDAD	1,60

OBSERVACIONES:

RESP. ANÁLISIS

DIRECTOR

cc. Archivo

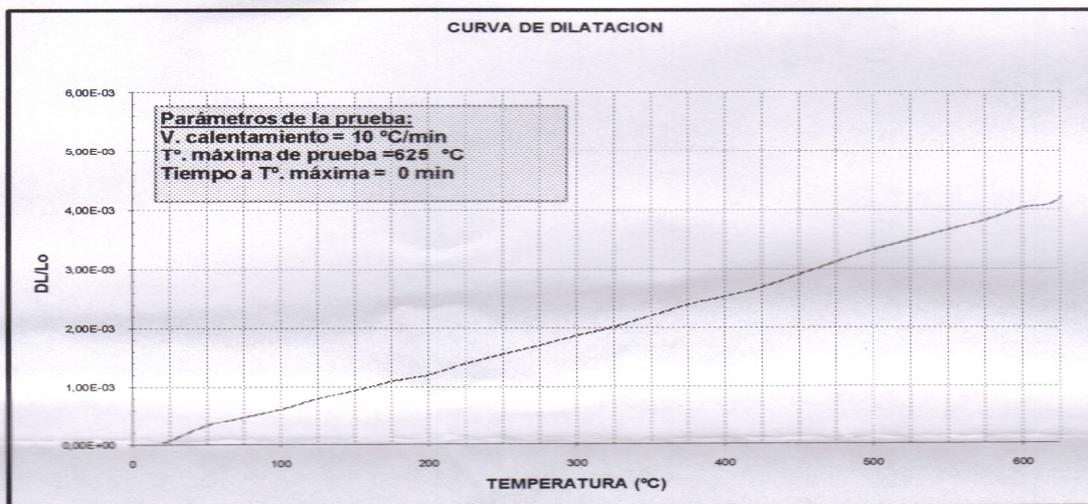
D. RESULTADO DE LA PRUEBA DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA FRITA MGT 0008.

DILATACION TERMICA REPORTE DE RESULTADOS

CLIENTE: U.T.P.L.
MATERIAL: FRITA MGT 0008
Fecha: 2009-05-11

TEMPERATURA DE QUEMA: 1150 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α			
20 a 325 °C	6,623E-06	/°C	0,2020%
20 a 600 °C	6,960E-06	/°C	0,4037%



OBSERVACIONES: _____

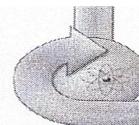
RESP. ANÁLISIS

DIRECTORA

E. RESULTADO DE LA PRUEBA DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA PASTA PORCELANA QUÍMICA A TEMPERATURA DE 1200°C.



C E S E M I N
Centro de Servicios y Análisis de Minerales
Metálicos y No Metálicos
UNIVERSIDAD DE CUENCA

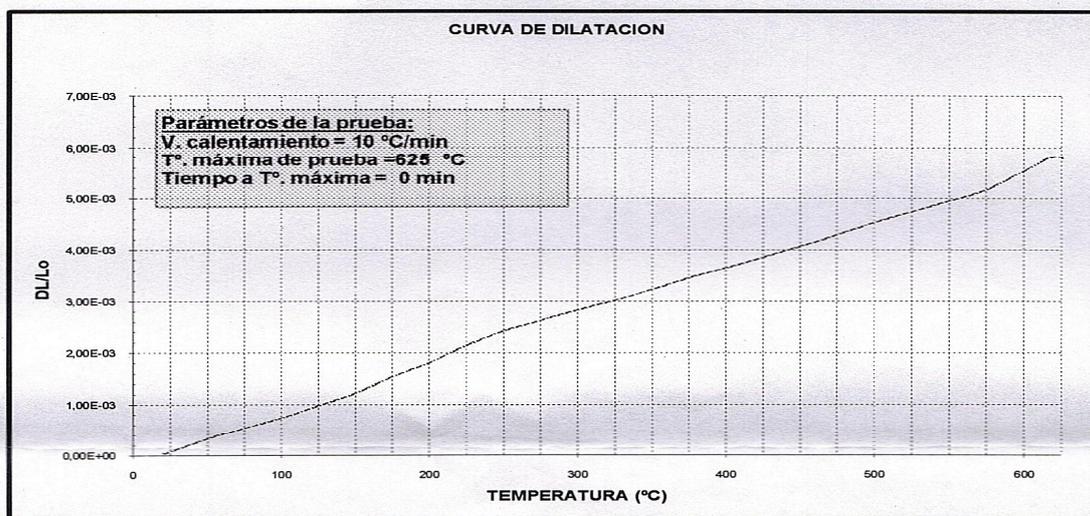


DILATACION TERMICA REPORTE DE RESULTADOS

CLIENTE: U.T.P.L.
MATERIAL: PASTA PORCELANA QUIMICA
Fecha: 2009-04-23

TEMPERATURA DE QUEMA: 1200 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	9,902E-06 /°C	0,3020%
20 a 600 °C	9,547E-06 /°C	0,5537%



OBSERVACIONES: _____

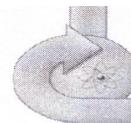
RESP. ANÁLISIS

DIRECTORA

F. RESULTADO DE LA PRUEBA DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA ESMALTE A TEMPERATURA DE 1200°C.



C E S E M I N
Centro de Servicios y Análisis de Minerales
Metálicos y No Metálicos
UNIVERSIDAD DE CUENCA

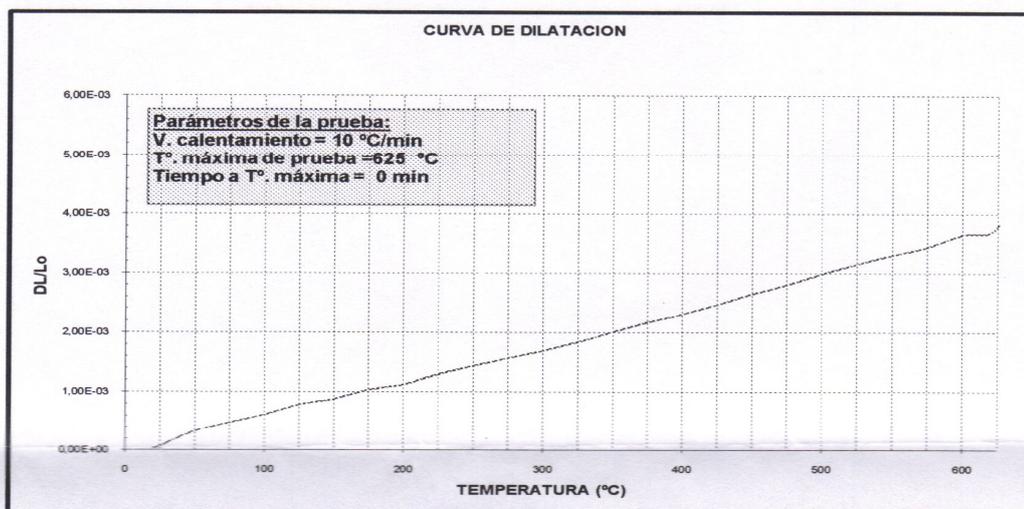


DILATACION TERMICA REPORTE DE RESULTADOS

CLIENTE: U.T.P.L.
MATERIAL: ESMALTE PORCELANA QUIMICA
Fecha: 2009-04-23

TEMPERATURA DE QUEMA: 1200 °C

COEFICIENTE DE DILATACION TERMICA: α		
20 a 325 °C	6,033E-06 /°C	0,1840%
20 a 600 °C	6,305E-06 /°C	0,3657%



OBSERVACIONES: _____

RESP. ANÁLISIS

DIRECTORA

G. DESGLOCE DE RUBROS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

COSTOS DE PRODUCCIÓN

1. Costos totales de Materia Prima

Tabla G.1. Costos de Materia Prima

1.1. Costo de Materias Primas para pasta			
Materia Prima	Cantidad por Molienda(Kg)	Costo (\$/Kg)	Costo Total(\$)
Caolín	1.60	0.01	0.02
Sílice	0.20	0.01	0.00
Marcabelí	0.20	0.15	0.03
Talco	0.10	7.07	0.71
Oxido de Zinc	0.30	8.00	2.40
Subtotal	2.4000		3.16
1.2. Costo de Materias Primas para esmaltes			
Materia Prima	Cantidad por Molienda(Kg)	Costo (\$/Kg)	Costo Total(\$)
Frita MGT 0008	1.20	1.96	2.352
Caolín	0.20	0.01	0.002
Sílice	0.10	0.01	0.001
Chamota	0.10	0.00	0.000
Subtotal	1.60		2.36
1.3. Costo de Aditivos para pasta y esmalte			
Materia Prima	Cantidad por Molienda(Kg)	Costo (\$/Kg)	Costo Total(\$)
CMC	0.0085	11.43	0.097
Metasilicato de sodio	0.0049	0.63	0.003
Silicato de sodio	0.0075	0.53	0.004
Subtotal	0.0208		0.10
Costo Total de Materias Primas	4.0208		5.61

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

2. Costos totales de Matricería

Tabla G.2. Costos de Matricería

Material	Cantidad por Molde(Kg)	Costo (\$/Kg)	Costo Total(\$)
Yeso Piedra	0.90	1.21	1.09
Yeso Poterry	0.70	1.21	0.85
Total costos de matriceria			1.94

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

3. Costos de Otros Materiales

Tabla G.3. Costos para otros materiales

Material	Personas	Costo (\$/u)	Costo Total(\$)
Mascarillas	7	1.01	7.09
Gafas	4	0.03	0.13
Botas reforzadas	3	0.12	0.35
Guantes	14	0.02	0.29
Ropa de trabajo	9	0.09	0.81
Tinas	3	12.00	36.00
Imanes	2	10.00	20.00
Plásticos	1	3.00	3.00
Total costos de Otros materiales			67.67

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

4. Consumo de Energía Eléctrica

Costo KW /hora = \$ 0.091

Costo por cada 10 KW de consumo de demanda = \$ 4.79

Valor adicional por consumo de demanda = \$ 1.597

Costo total por KW consumido en producción = \$ 1.688

Al valor del subtotal de la tabla G.4. se le adiciona el costo de \$ 1.41 que EERSSA cobra por servicios adicionales.

Tabla G.4. Costos de Energía Eléctrica

Equipo	Hora/Actividad	Consumo KW	Total KW/Hora	Costo (\$)
Basculas	1.00	0.60	0.60	1.01
Estufa	1.00	2.40	2.40	4.05
Molino	2.58	0.84	2.16	3.64
Horno 1	12.00			12.00
Horno 2	6.58			6.58
Subtotal				27.28
Total costos de Consumo eléctrico				28.69

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

5. Costos de Consumo de Agua

Costo por m³ = \$ 2.136

Tabla G.5. Costos para consumo de agua

Detalle	Cantidad de agua (m ³)	Costo Total(\$)
Agua para proceso en general	0.002066	0.00
Limpieza de Material de laboratorio	0.100000	0.21
Limpieza de Equipo de producción	1.000000	2.14
Total costos de Consumo de agua	1.10207	2.35

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

6. Costos de Mano de Obra

Tabla G.6. Costos de Sueldos

Plaza	Numero de empleados	Tiempo (h)	Sueldo \$/hora	Costo total(\$)
Obrero de molino	1	1.58	1.65	2.61
Obrero de coladores	1	1.00	1.65	1.65
Obrero de matricería	1	3.00	1.65	4.95
Obrero de recorte y pulido	1	1.00	1.65	1.65
Operario Horno	1	11.00	2.33	25.63
Esmaltador	1	1.00	1.65	1.65
Laboratorista	1	1.00	2.28	2.28
Total costos de Sueldos				40.42

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

7. Costos de Control de Calidad

Tabla G.7. Costos para control de calidad

Ensayos	Cantidad	Precio + iva	Costo Total(\$)
Análisis químico de MP	1	95.00	95.00
Análisis químico de Pasta	1	95.00	95.00
Dilatometría de Pasta	1	17.00	17.00
Dilatometría de Frita	1	33.00	33.00
Dilatometría de esmalte	1	33.00	33.00
Pruebas de craquelado	1	51.00	51.00
Prueba de Plasticidad	1	36.00	36.00
Total			360.00

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores

8. Resumen de costos.

Tabla G.8. Costo total de Producción

DETALLE	COSTO(\$)
Costo Total de Materias Primas	5.61
Total costos de matricería	1.94
Total costos de Otros materiales	67.67
Total costos de Consumo eléctrico	28.69
Total costos de Consumo de agua	2.35
Total costos de Mano de Obra	40.42
Total de costos de control de calidad	360.00
TOTAL DE PRODUCCIÓN	506.69

FUENTE: Investigación experimental

ELABORACIÓN: Los autores